

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE DEPORTES

“CAMPUS MEXICALI”



“ANÁLISIS BIOMECÁNICO DE LA MARCHA EN NIÑOS CONSIDERANDO SU PORCENTAJE DE GRASA CORPORAL Y NIVEL DE ACTIVIDAD FÍSICA”.

Trabajo terminal

Para obtener el grado de:

MAESTRO EN EDUCACIÓN FÍSICA Y DEPORTE ESCOLAR

PRESENTA

LAFD. FÁTIMA ANGÉLICA FLORES AGUILERA

MEXICALI, BAJA CALIFORNIA.

FECHA

25 de junio del 2021.

Trabajo Terminal

Para obtener el grado de:

MAESTRO EN EDUCACION FISICA Y DEPORTE ESCOLAR

PRESENTA

LAFD. FÁTIMA ANGÉLICA FLORES AGUILERA

Comité

Dra. Mirvana Elizabeth González Macías

Presidente

MAEFDyR. Emilio M. Arrayales Millán

Secretario

MEFyDE. Karla R. Keys González

Vocal

MA. Daniela V. Pacheco Marcano

Vocal

MEFyDE. Christian E. López Campos

Vocal

Examen presentado el 25 de junio del 2021.

Copyright © 2021

LAFD. Fátima Angélica Flores Aguilera

Derechos Reservados

Dedicatoria

Con mucho amor y felicidad, dedico este trabajo a mis padres, Genoveva Aguilera y Francisco Flores, quienes me motivaron a ingresar a la maestría, y me brindaron todo su apoyo durante estos dos años.

Gracias a ellos he podido crecer de manera personal y profesional, son mi mayor ejemplo de superación.

Agradecimiento

Cerrar este ciclo me genera una gran satisfacción, agradezco primeramente a Dios por permitirme culminar esta etapa de mi vida.

A mi directora, la Dra. Mirvana González, por todas sus enseñanzas, por ser mi mayor guía durante este camino, por todo el tiempo dedicado, por su paciencia, comprensión y constante motivación.

A la Maestra Karla Keys, por formar parte del equipo de trabajo junto con la Dra. Mirvana, por enseñarme tantas cosas, por su incondicional disposición.

Al Maestro Emilio Arrayales, por invitarme a realizar mi proyecto en el área de biomecánica.

A la Maestra Daniela Pacheco, por su disposición, y por toda la retroalimentación tan enriquecedora.

A todos mis profesores de maestría, gracias por colaborar con mi formación. Agradezco especialmente al profesor Luis Mario, por su paciencia y guía durante el último año.

A mis padres, Genoveva Aguilera y Francisco Flores, por ser los pilares que me sostuvieron en todo momento.

Al profesor Víctor Hugo Martínez Ranfla, mi entrenador y segundo padre, por escucharme, motivarme y aconsejarme.

A Héctor Santacruz, por su paciencia y apoyo incondicional.

A mi hermano Daniel Flores, por su disposición, y todo su apoyo durante este proceso.

A mis amigas, por siempre escucharme y comprenderme.

A todas las personas que se cruzaron en mi camino durante estos dos años, gracias por el interés, el apoyo, las palabras de aliento, gracias porque sin ustedes esto no habría sido posible.

Resumen

El exceso de grasa corporal en los niños genera cambios en la realización de sus actividades cotidianas, entre ellas la marcha. En México, los estudios de biomecánica se aplican comúnmente en el área médica y de rehabilitación, sin embargo, existen investigaciones realizadas con un propósito preventivo. El objetivo de la presente investigación es estudiar el efecto en la cinemática y los parámetros espaciotemporales del ciclo de marcha en niños, ocasionado por el exceso de grasa corporal, e identificar su relación con el nivel de actividad física. El grupo de estudio se conformó por 10 participantes, 6 niñas y 4 niños, con una edad media (10.30 ± 1.25) años de diferentes primarias de Mexicali B.C, los cuales se dividieron en tres grupos de acuerdo a su porcentaje de grasa corporal: Saludable, Sobrepeso y Obesidad. Dicho porcentaje se determinó con una báscula TANITA BF-689. Se aplicó el cuestionario PAQ-C para registrar el nivel de actividad física. Para la valoración biomecánica de la marcha, se realizaron las mediciones antropométricas, y posteriormente las grabaciones con el sistema de captura de movimiento Vicon Nexus y plataformas de fuerzas. El análisis biomecánico se realizó con la paquetería de Microsoft Excel 2013, y el análisis estadístico con el software estadístico IBM SPSS versión 23. En las correlaciones se implementó el método no paramétrico de Spearman, con un criterio de significancia de $p < 0.05$.

ÍNDICE

TABLAS.....	10
FIGURAS.....	12
Capítulo 1.	14
1. Introducción	15
1.1 Marcha humana	17
1.1.1 Descripción de la marcha humana	17
1.1.1.1 Fases y eventos de la marcha humana	18
1.1.1.2 Parámetros espacio-temporales de la marcha	19
1.1.1.3 Parámetros cinemáticos de la marcha	21
1.1.1.4 Patrón de marcha infantil	25
1.1.1.5 Alteraciones de la marcha en patologías	26
1.1.1.6 Otros factores que modifican el patrón de la marcha	27
1.1.1.7 Instrumentos de captura de movimiento	28
1.1.1.7 Aplicaciones del análisis de la marcha	37
1.2 Composición corporal por bioimpedancia eléctrica (BIA)	38
Capítulo 2	41
2.1 Planteamiento del problema	42
2.2 Justificación	43
2.3 Hipótesis	44
2.4 Objetivo General	44
2.5 Objetivos Específicos	45
Capítulo 3	46
3.1 Participantes	47
3.2 Evaluación biomecánica de la marcha	50
3.3 Diseño de estudio	50
3.4 Análisis biomecánico	51
3.5 Análisis Estadístico	51
Capítulo 4.	52
4.1 Resultados análisis biomecánico	53
4.2 Análisis estadístico	62
Capítulo 5.	115
5.1 Discusión	116

Capítulo 6	121
6.1 Conclusiones	122
Capítulo 7.	123
7.1 Trabajo futuro	124
7.2 Recomendaciones para futuros proyectos	124
7.3 Limitaciones	124
Capítulo 8.	126
Anexo 1. Carta de consentimiento informado.	127
Anexo 2. Cuestionario para medir el nivel de actividad física.	130
Anexo 3. Tablas de resultados de los parámetros espaciotemporales y cinéticos del análisis biomecánico.	136
Referencias	145

TABLAS

Tabla 1. Porcentaje de las fases del ciclo de marcha.	18
Tabla 2. Comportamiento cinemático de las articulaciones durante el ciclo de marcha. ...	22
Tabla 3. Factores que afectan la ejecución de la marcha.	27
Tabla 4. Descripción de las mediciones antropométricas.	28
Tabla 5. Significado y ubicación de las etiquetas para colocar los marcadores.	32
Tabla 6. Clasificación según porcentaje de grasa de la TANITA BF-689.	40
Tabla 7. Registro de los participantes, su clasificación con la báscula TANITA BF-689 y nivel de actividad física (NAF) evaluado con el cuestionario PAQ-C.	48
Tabla 8. Registro de las dimensiones antropométricas de los participantes de la clasificación saludable.	49
Tabla 9. Registro de las dimensiones antropométricas de los participantes de la clasificación sobrepeso y obesidad.	49
Tabla 10. Comportamiento cinemático de la cadera izquierda.	53
Tabla 11. Comportamiento cinemático de la cadera izquierda.	53
Tabla 12. Comportamiento cinemático de la cadera derecha de los participantes en las clasificaciones sobrepeso y obesidad.	54
Tabla 13. Comportamiento cinemático de la cadera derecha de los participantes en clasificación saludable.	55
Tabla 14. Comportamiento cinemático de la rodilla izquierda de los participantes en clasificación sobrepeso y obesidad.	56
Tabla 15. Comportamiento cinemático de la rodilla izquierda de los participantes en clasificación saludable.	56
Tabla 16. Comportamiento cinemático de la rodilla derecha de los participantes en clasificación sobrepeso y obesidad.	57
Tabla 17. Comportamiento cinemático de la rodilla derecha de los participantes en clasificación saludable.	58
Tabla 18. Comportamiento cinemático del tobillo izquierdo de los participantes en clasificación sobrepeso y obesidad.	59
Tabla 19. Comportamiento cinemático del tobillo izquierdo de los participantes en clasificación saludable.	59
Tabla 20. Comportamiento cinemático del tobillo derecho de los participantes en clasificación sobrepeso y obesidad.	60
Tabla 21. Comportamiento cinemático del tobillo derecho de los participantes en clasificación saludable.	61
Tabla 22. Estadística descriptiva de cada una de las variables.	62
Tabla 23. Correlación de los parámetros espacio-temporales con otras variables.	111
Tabla 24. Correlación de los parámetros cinemáticas de la marcha (ángulo de cadera y rodilla) con otras variables.	112
Tabla 25. Correlación de las variables cinemáticas de la marcha (ángulo de tobillo) con otras variables.	113
Tabla 26. Correlación de las variables cinéticas de la marcha con otras variables.	114
Tabla 27. Longitud de zancada pierna izquierda.	136

Tabla 28. Longitud de zancada pierna izquierda.	136
Tabla 29. Longitud de zancada pierna derecha.	137
Tabla 30. Longitud de zancada pierna derecha.	137
Tabla 31. Longitud de paso.	137
Tabla 32. Longitud de paso.	138
Tabla 33. Cadencia de pasos por minuto.	138
Tabla 34. Cadencia de pasos por minuto.	138
Tabla 35. Velocidad promedio.	139
Tabla 36. Velocidad promedio.	139
Tabla 37. Doble apoyo.	139
Tabla 38. Doble apoyo.	140
Tabla 39. Aterrizaje (Fz).	140
Tabla 40. Aterrizaje (Fz).	140
Tabla 41. Valle (Fz).	141
Tabla 42. Valle (Fz).	141
Tabla 43. Impulso vertical (Fz).	141
Tabla 44. Impulso vertical (Fz).	142
Tabla 45. Freno (Fy).	142
Tabla 46. Freno (Fy).	142
Tabla 47. Impulso (Fy).	143
Tabla 48. Impulso (Fy).	143
Tabla 49. Lateral (Fx).	143
Tabla 50. Lateral (Fx).	144
Tabla 51. Medial (Fx).	144
Tabla 52. Medial (Fx).	144

FIGURAS

Figura 1. Fases y eventos de la marcha humana.....	19
Figura 2. Parámetros espaciales del ciclo de marcha	20
Figura 3. a) cámara infrarroja, b) cámara de video, c) marcadores reflectantes,	30
Figura 4. Modelo de marcadores de cuerpo completo Plug-in Gait de Vicon®.....	30
Figura 5. Plataformas de fuerza modelo OR6-6 de AMTI™	31
Figura 6. Plataformas de fuerza modelo OR6-7 de AMTI™	31
Figura 7. Procedimiento para realizar la captura de movimiento.	37
Figura 8. Báscula Tanita Body Fat Monitor/Scale (TANITA BF-689).	39
Figura 9. Gráfica comparativa del ángulo de la cadera izquierda durante el ciclo de marcha de tres participantes.....	54
Figura 10. Gráfica comparativa del ángulo de la cadera derecha durante el ciclo de marcha de tres participantes.....	55
Figura 11. Gráfica comparativa del ángulo de rodilla izquierda durante el ciclo de marcha de tres participantes.....	57
Figura 12. Gráfica del ángulo de rodilla derecha durante el ciclo de marcha de tres de los participantes.	58
Figura 13. Gráfica del ángulo de tobillo izquierdo durante el ciclo de marcha de tres participantes.	60
Figura 14. Gráfica del ángulo de tobillo derecho durante el ciclo de marcha de tres participantes.	61
Figura 15. Gráfica de edad de los tres grupos: saludable, sobrepeso y obesidad.	65
Figura 16. Gráfica de peso de los tres grupos: saludable, sobrepeso y obesidad.	66
Figura 17. Gráfica de la estatura de las tres clasificaciones.	67
Figura 18. Gráfica del índice de masa corporal (IMC) de las tres clasificaciones.	68
Figura 19. Gráfica de % grasa de las tres clasificaciones: saludable, sobrepeso y obesidad.....	69
Figura 20. Gráfica del nivel de actividad física de las tres clasificaciones.	70
Figura 21. Gráfica de longitud de zancada izquierda en las tres clasificaciones.....	71
Figura 22. Longitud de zancada derecha en las tres clasificaciones.	72
Figura 23. Gráfica de la velocidad promedio en las tres clasificaciones.	73
Figura 24. Cadencia de pasos por minuto en las tres clasificaciones.....	74
Figura 25. Gráfica de la longitud de paso en mm de las tres clasificaciones.	75
Figura 26. Gráfica del ángulo de cadera del lado derecho en el periodo de oscilación....	76
Figura 27. Gráfica del ángulo de cadera izquierdo en extensión durante la fase de apoyo.	77
Figura 28. Gráfica del ángulo de cadera del lado derecho en flexión durante la fase de oscilación.....	78
Figura 29. Gráfica del ángulo de cadera del lado derecho en extensión durante la fase de apoyo en las tres clasificaciones.....	79
Figura 30. Gráfica del ángulo de rodilla izquierda en flexión durante la fase de oscilación.	80

Figura 31. Gráfica del ángulo de rodilla izquierda en extensión durante la fase de oscilación.....	81
Figura 32. Gráfica del ángulo de rodilla izquierda en flexión durante la fase de apoyo....	82
Figura 33. Gráfica del ángulo de rodilla izquierda en extensión durante la fase de apoyo.	83
Figura 34. Gráfica del ángulo de rodilla derecha en flexión durante la fase de oscilación.	84
Figura 35. Gráfica del ángulo de rodilla derecha en extensión durante la fase de oscilación.....	85
Figura 36. Gráfica del ángulo de rodilla derecha en flexión durante la fase de apoyo.	86
Figura 37. Gráfica de ángulo de rodilla en extensión durante la fase de apoyo.....	87
Figura 38. Gráfica de ángulo de tobillo en flexión dorsal durante la fase de apoyo.	88
Figura 39. Gráfica de ángulo de tobillo izquierdo en flexión plantar durante la fase de oscilación.....	89
Figura 40. Gráfica de ángulo de tobillo izquierdo en flexión dorsal durante el periodo de oscilación.....	90
Figura 41. Gráfica del ángulo de tobillo izquierdo en flexión plantar durante la fase de apoyo.....	91
Figura 42. Gráfica de ángulo de tobillo derecho en flexión dorsal durante la fase de apoyo.....	92
Figura 43. Gráfica de ángulo de tobillo derecho en flexión plantar durante la fase de oscilación.....	93
Figura 44. Gráfica de ángulo de tobillo derecho en flexión dorsal durante la fase de oscilación.....	94
Figura 45. Gráfica de ángulo de tobillo derecho en flexión plantar durante la fase de apoyo.....	95
Figura 46. Gráfica de doble apoyo en el eje vertical (F_z).	96
Figura 47. Gráfica de aterrizaje de la pierna izquierda.	97
Figura 48. Gráfica de aterrizaje pierna derecha.	98
Figura 49. Gráfica del valle en la pierna izquierda sobre el eje vertical (F_z).	99
Figura 50. Gráfica del valle de la pierna derecha en el eje vertical (F_z).....	100
Figura 51. Gráfica del impulso de pierna izquierda en el eje vertical (F_z).....	101
Figura 52. Gráfica del impulso de la pierna derecha en el eje vertical (F_z).....	102
Figura 53. Gráfica del freno de la pierna izquierda en el eje anteroposterior (F_y).....	103
Figura 54. Gráfica del freno en la pierna derecha sobre el eje anteroposterior (F_y).	104
Figura 55. Gráfica del impulso de la pierna izquierda sobre el eje anteroposterior.	105
Figura 56. Gráfica del impulso de la pierna derecha sobre el eje anteroposterior (F_y). .	106
Figura 57. Gráfica de supinación del pie izquierdo sobre el eje lateromedial (F_x).	107
Figura 58. Gráfica de supinación del pie derecho sobre el eje lateromedial (F_x).....	108
Figura 59. Gráfica de la pronación del pie izquierdo sobre el eje latero medial en la fase de contacto inicial.	109
Figura 60. Gráfica de la pronación del pie derecho sobre el eje latero medial (F_x) en la fase de contacto inicial.....	110

Capítulo 1.

Introducción

1. Introducción

Los estudios de la marcha humana han ido aumentando con el paso de los años. Cada vez hay más información relacionada debido a la utilidad que le han encontrado los investigadores en diferentes áreas de estudio. Las aportaciones van desde conocer y comprender todos los componentes de la marcha humana hasta la creación de prótesis para las personas que pierden una extremidad inferior.

A pesar de que el estudio de la marcha en adultos ha ido incrementando con el paso del tiempo, son todavía pocas las investigaciones sobre la biomecánica de la marcha infantil.

Se ha encontrado literatura sobre las consecuencias que tiene el exceso de masa adiposa en los niños y cómo puede afectar su estructura corporal, de manera que modifica la ejecución de diversas tareas básicas, una de ellas, la marcha. También se relaciona con un incremento de las fuerzas de impacto hacia las articulaciones al caminar y realizar actividades de la vida diaria, lo que aumenta la posibilidad de sufrir lesiones o fracturas (Villarrasa, 2019).

Este exceso de grasa corporal en los niños está aumentando con el paso de los años; en 1975 se registraron 5 millones de niñas y 6 millones de niños con obesidad, incrementándose a 50 millones de niñas y 74 millones de niños en 2016, lo que indica un ascenso a nivel mundial de 11 millones en 1975 a 124 millones en 2016. Según la Organización Mundial de la salud (OMS), en los últimos 20 años se han multiplicado por 10 las cifras de niños entre 5 y 19 años que presentan obesidad. La OMS ha informado acerca de un estudio realizado en conjunto con el Imperial College de Londres y advierte la posibilidad de que en 2022 exista más población infantil y adolescente con obesidad que con insuficiencia ponderal moderada o grave (OMS, 2017).

Además de las cifras a nivel mundial, de acuerdo a la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT) 2006, en México, la prevalencia de sobrepeso y obesidad en preescolares fue de 16.7%; en escolares de 26.2%, y en adolescentes de 30.9%,

siendo el estado de Baja California y Baja California Sur los que presentaron la más alta prevalencia de exceso de peso (41.7 y 45.5%, respectivamente) (Barquera et al., 2020). En un artículo publicado por (Avalos et al., 2014), se mencionan datos importantes sobre el sobrepeso y la obesidad en México; en 2012 uno de cada tres niños presentaba sobrepeso u obesidad, ocupando el cuarto lugar con niños entre 5 y 17 años con obesidad. En ese mismo año, se registró a Baja California dentro de los 5 estados con un porcentaje mayor de niños en edad escolar con sobrepeso y obesidad: 1. Yucatán (35.9%); 2. Baja California Sur (35.7%); 3. Baja California (35.6%); 4. Distrito Federal (35.2%) y 5. Tamaulipas (31.7%).

En México, los análisis biomecánicos de la marcha se realizan en mayor medida dentro del área médica y de rehabilitación, puesto que tienen el objetivo de brindar una alternativa óptima de tratamiento a niños con trastornos músculo- esqueléticos específicos (Chiza, 2018), o niños que perdieron alguna extremidad inferior (Correa et al., 2003). También se lleva a cabo un análisis biomecánico de la marcha con la intención de obtener valores estándar que describen la marcha infantil de niños mexicanos “sanos”, y de esta manera tener un punto de comparación en hospitales o institutos de rehabilitación (Villalobos et al., 2005).

Desde otra perspectiva, es importante realizar estos estudios con objetivos de prevención, tal como lo hizo Ordoñez (2014); quien evaluó la frecuencia de alteración de los parámetros espaciotemporales en niños de 6 a 10 años, y encontró un 39.9% de alteración en la oscilación derecha y un 95.9% de alteración en la zancada bilateral y la longitud del paso derecho, además de una influencia de las variables de peso y lateralidad.

A pesar del avance tecnológico, no se han encontrado análisis biomecánicos de la marcha en niños realizados en Baja California.

Lo mencionado anteriormente, ha sido razón suficiente para que se indague en este tema por medio de la ciencia, de manera que se pueda establecer cuál es el impacto en la biomecánica de la marcha de los niños ocasionado por el exceso de grasa corporal.

A continuación, se describirán algunos conceptos importantes para la comprensión de este trabajo.

1.1 Marcha humana

La marcha se define como la actividad básica de locomoción bípeda (Arellano-González et al., 2019) realizada cotidianamente por los seres humanos en la que se alternan varios movimientos de manera coordinada, tanto de las extremidades como del tronco, se desplaza el cuerpo hacia adelante (centro de gravedad) (Agudelo et al., 2013) y al mismo tiempo “se mantiene la estabilidad” (Monge et al., 2020, Capítulo 2, p. 13). La marcha forma parte de las actividades que representan la evolución del ser humano debido a que se permite mover las extremidades superiores con libertad (Ridao, 2019).

1.1.1 Descripción de la marcha humana

La marcha se basa en la sucesión de períodos de doble apoyo y apoyo monopodal (Osorio & Valencia, 2013), de tal manera que “un miembro inferior permanece siempre en contacto con el suelo; hecho que diferencia la marcha de otras formas de desplazamiento como la carrera” (Monge et al., 2020, Capítulo 2, p. 13).

Para mantener el equilibrio durante la ejecución de la marcha se requiere de la participación de tres sistemas sensoriales aferentes: visual, vestibular, y propioceptivo, junto a ellos, mecanismos espinales y corticales ayudan a mantener una postura adecuada y conservar el balance óptimo cuando se transfiere el peso corporal de un miembro inferior a otro (Ridao, 2019).

Durante la marcha una extremidad permanece “estable” mientras que la otra está en mayor movimiento, acción que se invierte durante cada ciclo.

1.1.1.1 Fases y eventos de la marcha humana

El ciclo de la marcha

El ciclo de la marcha es la secuencia de acontecimientos que tiene lugar desde el contacto del talón con el suelo, hasta el siguiente contacto del mismo talón con el suelo (Collado, 2004).

Se divide en dos fases o periodos: fase de apoyo que representa el 60% del ciclo y fase de balanceo o de oscilación que constituye el 40% del ciclo; cuando los dos pies están tocando el suelo se le llama periodo de doble apoyo, el cual sucede en dos ocasiones dentro del ciclo, al inicio y al término de la fase de apoyo (aproximadamente 20% del periodo de apoyo) (Agudelo et al., 2013).

Tabla 1. Porcentaje de las fases del ciclo de marcha.

Fases del ciclo de marcha	Porcentaje
Fase de apoyo	60%
Fase de oscilación	40%
Fase de doble apoyo	20%

Fuente: elaboración propia con base en información obtenida de (Acosta, 2004).

La duración de estas fases es relativa porque, como ya hemos dicho, depende en gran medida de la velocidad. Por tanto, cuando la velocidad aumenta, la proporción de la fase de balanceo aumenta respecto a la fase de apoyo, de manera que desaparece la fase de doble apoyo iniciando así la carrera.

“El aprendizaje de la marcha es muy importante dentro del proceso de desarrollo de los niños, ya que les brinda autonomía para desplazarse en el espacio, incrementa su campo de visión y les permite explorar lugares u objetos” (Collado, 2004).

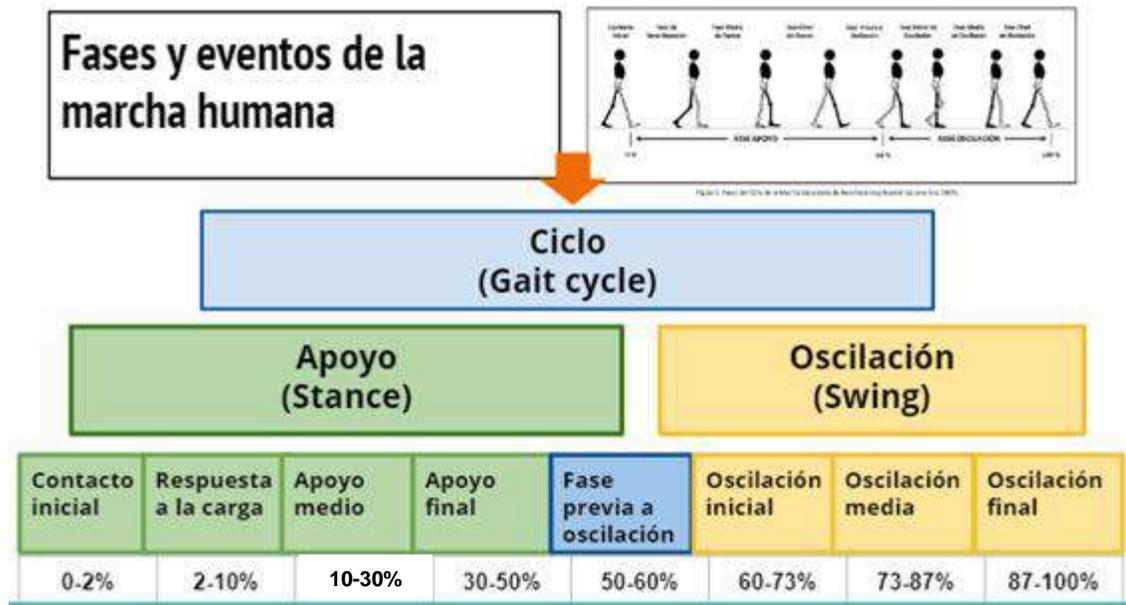


Figura 1. Fases y eventos de la marcha humana.

Fuente: elaboración propia con base en información de Monge et al. (2020), Capítulo 2, p. 14.

1.1.1.2 Parámetros espacio-temporales de la marcha

Longitud de paso: es la distancia en la línea de progresión desde el punto del choque de talón de una extremidad, hasta el punto de choque del talón de la opuesta (Cámara, 2011).

Longitud de zancada: es la distancia lineal entre el contacto del talón del mismo pie en el suelo (Osorio & Valencia, 2013). La longitud de zancada está compuesta por dos pasos, por lo que dos longitudes de paso constituyen una longitud de zancada lo que no quiere decir que siempre el valor de longitud de zancada sea el doble que el valor de la longitud de paso, ya que este puede variar por la posible asimetría entre el paso izquierdo y derecho (Daza, 2007, p. 260).

Tiempo de paso: periodo de tiempo transcurrido entre el contacto inicial de un pie con el suelo y el mismo acontecimiento del pie contrario; se expresa en segundos (Gómez, 2016). El tiempo de paso de ambos miembros inferiores (derecho e izquierdo) debe ser similar en el patrón de marcha normal (Cámara, 2011).

Cadencia de pasos: la cadencia natural se define como el número de pasos en un tiempo determinado que da una persona cuando anda a velocidad espontánea (autoseleccionada) (Daza, 2007, p. 259). Se expresa convencionalmente en pasos por minuto y está relacionada con la longitud de paso; cada individuo adapta la cadencia de pasos de acuerdo a su estructura corporal para ahorrar energía. (Monge et al., 2020, Capítulo 2, p. 16).

Anchura de paso: es la distancia entre ambos talones y se mide desde el centro articular de cada tobillo; la medición de este parámetro se utiliza para determinar problemas de equilibrio durante la marcha (Gómez, 2016).

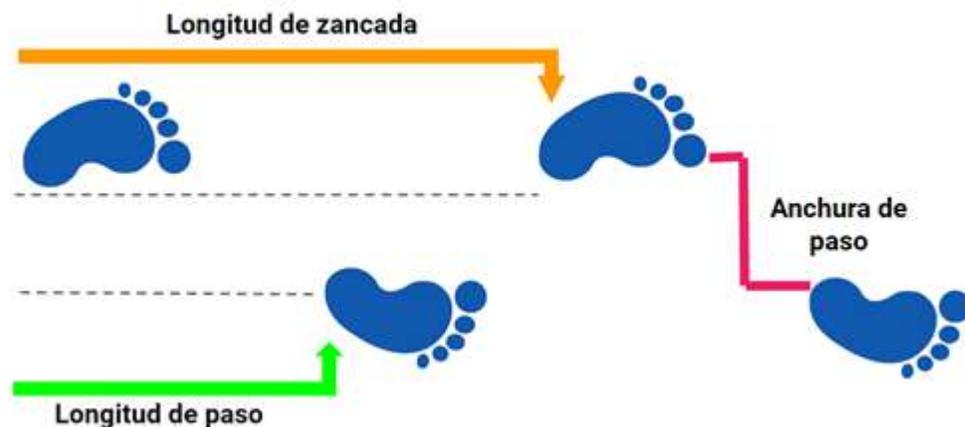


Figura 2. Parámetros espaciales del ciclo de marcha

Fuente: Gómez (2016).

Tiempo de zancada: es el intervalo de tiempo entre dos choques sucesivos del talón del mismo pie en el suelo; conformado por un tiempo de apoyo y un tiempo de

balanceo del mismo pie (Cámara, 2011). Suele permanecer entre 1 y 1.2 segundos. (Monge et al., 2020, Capítulo 2 p. 17).

Velocidad: es la distancia recorrida por un cuerpo en aceleración por unidad de tiempo; varía de acuerdo a la longitud de las extremidades inferiores y de la capacidad aeróbica de cada persona. La velocidad de la marcha cambia según la edad y el sexo (1.43 m/s en hombres y 1.28 m/s en mujeres). (Monge et al., 2020, Capítulo 2, p. 17).

Velocidad espontánea: es la velocidad de marcha que lleva un sujeto de manera natural, es decir, sin que esté siendo alterada por algún factor externo (impuesta por alguien) o interno (seleccionada por el poco tiempo para llegar de un sitio a otro), y por este motivo requiere de un mínimo gasto de energía (Cámara, 2011).

Velocidad impuesta: es la que se le impone a un individuo, impidiendo que pueda desarrollar su marcha con normalidad, pudiendo entonces, alterar los valores obtenidos dentro de cualquier estudio biomecánico (Cámara, 2011).

1.1.1.3 Parámetros cinemáticos de la marcha

Al realizar análisis acerca de la biomecánica de la marcha se espera obtener resultados cinemáticos. La cinemática de la marcha nos permite estudiar los ángulos de las articulaciones durante cada evento del ciclo de marcha.

Los resultados obtenidos acerca de las posiciones de los cuerpos en movimiento a cada instante nos permiten calcular velocidades, aceleraciones, impulsos mecánicos, momentos angulares o energías.

A pesar de que la mayoría de los movimientos suceden en el plano sagital, deben ser tomados en cuenta los movimientos en los planos transversal y frontal. El grado de libertad de cada movimiento dependerá de la amplitud articular. (Carratalá & Molina, 2020, Capítulo 3, p. 19).

El ciclo de marcha comienza con pie y tobillo, los cuales sufren deformidades instantáneas y temporales, mientras que las articulaciones que conforman este

segmento corporal adoptan posiciones angulares y movimientos que describirían una marcha normal. Las articulaciones de miembros inferiores tienen un especial protagonismo en el ciclo de marcha: tobillo, rodilla, cadera; sin embargo, es importante considerar la coordinación que se presenta durante los movimientos implicados en el ciclo de marcha que involucran centro de gravedad, la pelvis y las extremidades superiores.

Tabla 2. Comportamiento cinemático de las articulaciones durante el ciclo de marcha.

Comportamiento cinemático de las articulaciones de cadera, rodilla y tobillo en los tres planos: sagital, frontal y transversal.			
Segmento	Plano sagital	Plano frontal	Plano transversal
Cadera	30° de flexión (CI) 10° de extensión (PO) 30° de flexión (OM)	0-5° de aducción (CI) 8-10° de aducción (CI) 8° de abducción (OI) 0° de aducción (OF)	Rotación interna máxima (RC) Rotación externa máxima (PO-OI)
Rodilla	0-5° de flexión (CI) 15-20° de flexión (RC) 0-5° de flexión (AF) 60° de flexión (OI) 0-5° de flexión (OF)	4° de valgo (RC) 4° de varo (OI-OM) 4° de valgo (OF)	Rotación externa durante todo el ciclo Rotación interna (CI) Tendencia a la rotación interna (RC) Rotación externa (AM-AF) Tendencia a la rotación interna (PO) Rotación externa (OI-OM-OP)
Tobillo	0° de flexión neutra (CI) 5° de flexión plantar (RC) 10-12° de flexión dorsal (AM-AF) 20° de flexión plantar (PO) 0° de flexión neutra (OI-OM-OF)	Supinación y aducción (CI) Pronación y movimiento hacia la abducción (RC) Supinación y aducción (AM-AF-PQ) Posición neutra (OI-OM) Supinación y aducción (OF)	

Nota: **AF:** apoyo final, **AM:** apoyo medio, **CI:** contacto inicial, **OF:** Oscilación final, **OI:** oscilación inicial, **OM:** oscilación media, **PO:** preoscilación, **RC:** respuesta de la carga.

Fuente: Catarralá & Molina (2020), Capítulo 3, p. 20.

Cinemática del centro de gravedad

Sucede un movimiento ascendente y descendente del centro de gravedad en el plano sagital con dos picos máximos de movimiento ascendente (25 y 75 % del ciclo), que corresponden al final de la fase media de apoyo de la pierna que sostiene el peso; el máximo movimiento descendente se encuentra durante el 50% del ciclo. El movimiento lateral del centro de gravedad ocurre durante la transferencia del peso de un miembro a otro (Gómez, 2016).

Para mantener el movimiento natural del centro de gravedad se requiere una sinergia en el comportamiento de cadera, rodilla y tobillo durante la ejecución de la marcha (Gómez, 2016). La coordinación de estos segmentos corporales tiene como objetivo amortiguar el impacto durante el movimiento de los pies, mantener un desplazamiento suave del centro de gravedad, y generar una marcha más eficiente.

Patrón cinemático de los miembros inferiores

Cadera: permite desplazar el miembro inferior, el tronco, la cabeza y extremidades superiores manteniendo la estabilidad durante todas las fases del ciclo de marcha.

Los principales movimientos de la cadera ocurren en el plano sagital (flexión-extensión); en el primer contacto del talón, se encuentra flexionada en 30° aproximadamente.

En el plano frontal la cadera tiene menos amplitud para moverse, se realizan movimientos de aducción y abducción.

En el plano transversal, el rango articular de la cadera se encuentra entre 10-15°; se origina una rotación interna máxima de cadera en la fase de apoyo y una rotación externa máxima durante la fase de oscilación (Carratalá & Molina, 2020, Capítulo 3, p. 20).

Rodilla: la rodilla tiene la tarea de estabilizar durante la fase de apoyo. Una de sus principales funciones es absorber el peso corporal.

En el contacto inicial, la rodilla se encuentra en una ligera flexión de 5° aproximadamente (plano sagital), aumentando a 15-20° durante la fase de respuesta a la carga en la que son protagonistas los músculos que extienden la rodilla (Carratalá & Molina, 2020, Capítulo 3, p. 21). La rodilla comienza a extenderse desde el 15% hasta el 40% del ciclo de marcha, y a flexionarse durante las fases de apoyo final y pre oscilación; este movimiento de flexión continúa durante el periodo de oscilación (70% del ciclo) y alcanza los 60°.

La rodilla tiene un rango de movimiento limitado en el plano frontal; valgo y varo, llegando apenas a los 8°, valor máximo que se expresa en el periodo de oscilación inicial y media; en el periodo de oscilación final suceden distintos movimientos: valgo, aducción y rotación interna de cadera (Carratalá & Molina, 2020, Capítulo 3, p. 21).

En el plano transversal, la rodilla inicia la fase de apoyo en rotación externa y posteriormente, cuando toda la planta del pie toca el suelo sucede una rotación interna de 4-8°. Durante el apoyo monopodal la rodilla inicia el movimiento de extensión, acompañado de una rotación externa en las fases de apoyo medio y final; estos movimientos en conjunto estabilizan la pierna. En el periodo de pre oscilación la rodilla alcanza su máximo ángulo de rotación externa, regresando periódicamente a rotación interna en la fase de oscilación; gesto necesario para iniciar el siguiente ciclo (Carratalá & Molina, 2020, Capítulo 3, p. 22).

Tobillo: está conformado por articulaciones que favorecen su movimiento en los tres planos (sagital, frontal y transversal); realiza flexión-extensión, pronación-supinación, rotación interna-externa e inversión-eversión (combinación de movimientos).

En el plano sagital, el tobillo inicia en movimiento de flexión dorsal, continuando con el movimiento del pie hasta que la planta toca completamente el suelo y sucede una flexión plantar de 5°; este patrón cinemático se expresa entre el 0 y 10% del ciclo de marcha. Después de que la planta del pie se posiciona sobre el suelo entre el 10 y 50% del ciclo de marcha, la tibia se desplaza y se presenta una flexión dorsal de

12°. La extremidad inferior continúa su desplazamiento sobre el antepié, lo que indica una disminución del apoyo y produce una flexión plantar de 20°. Cuando inicia la fase de oscilación se produce un cambio a flexión dorsal, la cual disminuye en la oscilación media (flexión plantar). (Carratalá & Molina, 2020, Capítulo 3, p. 22).

En los planos frontal y transversal la articulación del tobillo inicia con movimientos de supinación y aducción, conforme progresa el ciclo de marcha suceden movimientos de pronación y abducción.

1.1.1.4 Patrón de marcha infantil

Existen diferencias en la ejecución de la marcha en niños y adultos; estas diferencias van disminuyendo conforme al crecimiento y desarrollo de los niños. A pesar de este hecho, continúan presentándose características específicas durante el ciclo de marcha en la infancia y la edad adulta.

Aproximadamente a los 11 meses, los niños son capaces de mantenerse de pie con una postura erguida, y dentro de un rango de dos a siete meses después (13-18 meses), comienzan a caminar; en esta etapa hace falta un desarrollo de equilibrio y coordinación, lo que da como resultado una marcha inestable. Conforme más practican, su experiencia los lleva a mejorar la manera de desplazarse incrementando progresivamente su capacidad para mantenerse estables, e incluso mover objetos de un lugar a otro (Agudelo et al., 2013).

A los 3 años, un niño ya tiene la capacidad de saltar con sus dos pies, y a los 4 años ya puede sostenerse en uno solo. La edad en la que el patrón de marcha de los niños, en cuanto cinemática y cinética, adquiere las características del patrón de marcha de un adulto, es a los 7 años (Gómez, 2004); sin embargo, todavía existen diferencias amplias en los parámetros espaciotemporales, puesto que estos dependen de la estatura; parámetros como la velocidad, longitud de paso y cadencia dependen del tamaño de miembros inferiores, desarrollo de equilibrio y coordinación, requisitos que se van desarrollando durante el crecimiento de los

niños (Collado, 2004), alcanzando su óptima evolución alrededor de los 15 años (Gómez, 2004).

Las diferencias que más destacan entre la marcha del niño y del adulto son: los niños presentan una menor longitud de paso, velocidad y tiempo de oscilación, mínima flexión de rodilla en el periodo de apoyo, mayor anchura de paso, contacto inicial con la planta completa; cuando en el adulto es con talón y una ligera rotación externa de miembros inferiores durante el ciclo.

1.1.1.5 Alteraciones de la marcha en patologías

Existen diversos patrones que alteran la ejecución de la marcha, estos pueden ser trastornos neurológicos, alteraciones en el aparato locomotor o afectación del desarrollo psicomotor, las cuales pueden adquirirse desde el nacimiento, mostrándose retrasos en la adquisición del aprendizaje de la marcha, desarrollarse con la edad o ser provocadas por algún accidente; en estos casos, la marcha se llevará a cabo con características patológicas aparentes (Gómez, 2016).

Las diversas patologías que afectan el patrón de marcha, alteran directamente al sistema músculo-esquelético, y se pueden clasificar en cinco categorías dependiendo de la pérdida de funcionalidad: debilidad muscular, pérdida de la sensibilidad, deformidad, déficit de control motor y dolor (Gómez, 2016).

Otra de las causas por las que se ve modificada la marcha es el exceso de peso, que la mayoría de las veces se relaciona con un bajo porcentaje de masa muscular. Varias investigaciones destacan los efectos perjudiciales de la obesidad en la biomecánica de la marcha, asociando esta condición con una mala alineación esquelética de las extremidades inferiores, aumento del estrés ejercido a las articulaciones, dolores e incomodidad al caminar.

1.1.1.6 Otros factores que modifican el patrón de la marcha

A pesar de que el patrón de marcha puede medirse, su desarrollo depende de diversos factores, desde culturales, económicos y ambientales (terreno donde se desenvuelve un individuo), hasta factores como la edad, la estatura (tamaño de los miembros inferiores) y el calzado.

La biomecánica nos permite analizar las causas por las que se ve modificada la locomoción del ciclo de marcha humana (Collado, 2004).

La mayoría de las ocasiones, podemos percibir por medio de la observación, estas modificaciones, sobre todo cuando nos referimos a factores extrínsecos (ambiente y calzado). Un ejemplo, sería caminar sobre un suelo inestable o inclinado; inmediatamente podemos sentir cómo cambia nuestra manera de desplazarnos, no solo en nuestros pies, sino que de manera inconsciente el cuerpo compensa interponiendo más fuerza en uno u otro segmento corporal, y por lo tanto, se modifica la postura. En las inclinaciones hacia afuera, el apoyo anterior es mayor gracias a la longitud decreciente de dentro a fuera de los radios metatarsianos. En ocasiones, el descenso obliga al pie a adoptar una posición en inversión para conseguir una mayor adherencia.

Tabla 3. Factores que afectan la ejecución de la marcha.

Factores que afectan la ejecución de la marcha humana	
Factores extrínsecos	Calzado, terreno, etc.
Factores intrínsecos	Edad, sexo, etc.
Factores fisiológicos	Embarazo, envejecimiento.
Factores psicológicos	Personalidad y estado de ánimo.
Factores patológicos	Alteraciones musculoesqueléticas, neurológicas, etc.

Fuente: elaboración propia con información de Molina & Carratalá (2020).

1.1.1.7 Instrumentos de captura de movimiento

Los laboratorios están conformados por distintos equipos, los más comunes son el sistema de captura de movimiento, las plataformas de fuerza y el equipo de electromiografía, los cuales permiten obtener valores cuantitativos acerca de la ejecución de la marcha (parámetros espaciotemporales, cinemáticos, cinéticos y electromiográficos) y detectar posibles alteraciones músculo-esqueléticas (Pérez et al., 2020, Capítulo 9, p. 77).

Sistema Vicon®.

El sistema de captura de movimiento Vicon para obtener los ángulos y momentos, está conformado por 11 cámaras de iluminación infrarroja (figura 3), resolución de hasta un megapixel y una distancia focal variable y velocidad de 250 cuadros por segundo (cps); dos cámaras de video (figura 3) con una frecuencia de 120 hz y una resolución de 1280 y 720 HD; y una computadora DELL para la captura de información. El software Nexus, requiere las mediciones antropométricas de cada participante, dichas medidas se presentan en la tabla 4. Después, se procede a la colocación de los 39 marcadores de acuerdo al modelo Plug-in Gait de Vicon® (Vicon Motion Systems, 2017) de cuerpo completo (figura 4).

Tabla 4. Descripción de las mediciones antropométricas.

Medida (ambos lados: izq.-der.)	Descripción
Parte superior del cuerpo	
Ancho del codo	Ancho a lo largo del eje de flexión, aproximadamente entre el epicóndilo medial y lateral del húmero.
Espesor de la mano	Espesor anterior/posterior entre las superficies palmar y dorsal de la mano.

Desplazamiento del hombro	Desplazamiento vertical desde la base del acromion al centro de la articulación del hombro.
Ancho de la muñeca	Espesor anterior/posterior de la muñeca.
Medidas (izq-der)	Descripción
Parte inferior del cuerpo	
Ancho de tobillo	Distancia medio lateral del maléolo. Con el participante de pie.
Ancho de rodilla	Distancia medio lateral de la rodilla. Con el participante de pie.
Longitud de la pierna	Distancia entre la espina iliaca antero superior y el maléolo interno, a través de la articulación de la rodilla.

Nota: Izq: izquierda, Der: derecha.

Fuente: González et al. (2018).

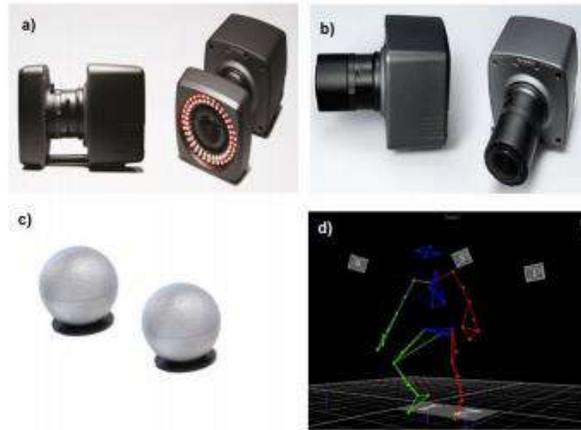


Figura 3. a) cámara infrarroja, b) cámara de video, c) marcadores reflectantes, d) sistema Vicon Nexus.

Fuente: González et al. (2018).

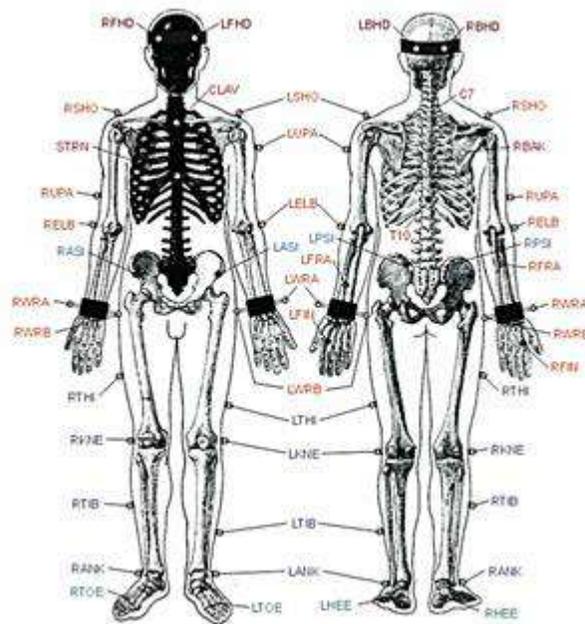


Figura 4. Modelo de marcadores de cuerpo completo Plug-in Gait de Vicon®.

Fuente: Vicon Motion Systems (2017).

Sistema BIOVEC™ de AMTI™

El sistema BIOVEC™ de AMTI™, está integrado por cuatro plataformas de fuerza. Dos de las plataformas son modelo ORG-6 (figura 5) con una capacidad de 2000 lb con una frecuencia de 1000 Hz en Fz y de 550 Hz para Fx y Fy. Las otras dos son modelo ORG-7 (figura 6) con una capacidad de 1000 lb, una frecuencia de 480 Hz en Fz y de 300 Hz en Fx y Fy, ambos modelos utilizan amplificador y el software Netforce.



Figura 5. Plataformas de fuerza modelo ORG-6 de AMTI™.

Fuente: González et al. (2018).

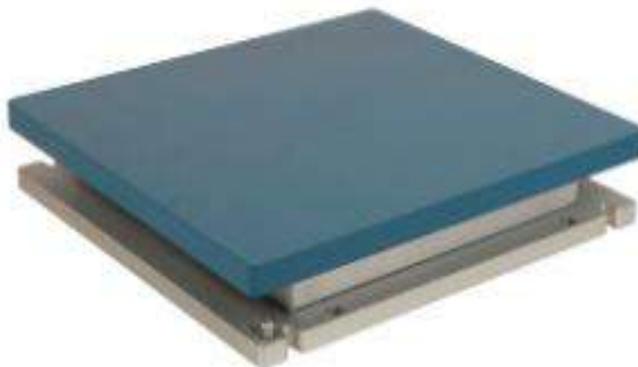


Figura 6. Plataformas de fuerza modelo ORG-7 de AMTI™.

Fuente: ORG-7 Force Platform (s. f.).

Se utilizó el modelo Plug in Gait para registrar posiciones y ángulos del tronco, miembros y extremidades superiores e inferiores. El significado y ubicación de las etiquetas se presenta en la tabla 5.

Tabla 5. Significado y ubicación de las etiquetas para colocar los marcadores.

Miembro superior	
Marcadores de la cabeza	Ubicación
LFHD Left front head	Delante de la cabeza lado izquierdo
RFHD Right front head	Delante de la cabeza lado derecho
LBHD Left back head	Detrás de la cabeza lado izquierdo
RBHD Right back head	Detrás de la cabeza lado derecho
Marcadores del torso	Ubicación
C7 7th Cervical Vertebrae	Séptima vértebra cervical
T10 10th Thoracic Vertebrae	Décima vértebra torácica
CLAV Clavicle	Clavícula
STRN Sternum	Esternón

RBAK Right Back	Lado derecho de la espalda
Marcadores del brazo	Ubicación
LSHO Left shoulder marker	Sobre la articulación acromio-clavicular izquierda.
LUPA Left upper arm marker	En la superficie lateral a 1/3 superior del brazo izquierdo (asimétricamente con el RUPA).
LELB Left elbow	En el epicóndilo lateral del codo izquierdo.
LFRM Left forearm marker	1/3 inferior sobre la superficie lateral del antebrazo izquierdo (asimétricamente con el RFRM).
LWRA Left wrist marker A	En el lado del pulgar izquierdo sobre una muñequera, lo más cerca posible del centro de la articulación de la muñeca.
LWRB Left wrist marker B	En el lado del dedo meñique izquierdo, sobre una muñequera, lo más cerca posible del centro de la articulación de la muñeca.
LFIN Left fingers	Proximal al nudillo medio de la mano izquierda.
RSHO Right shoulder	Sobre la articulación acromio-clavicular derecha.
RUPA Right upper arm	En la superficie lateral a 1/3 inferior del brazo derecho.
RELB Right elbow	En el epicóndilo lateral del codo derecho.

RFRM Right Forearm	1/3 superior sobre la superficie lateral del antebrazo derecho.
RWRA Right Wrist Marker A	En el lado del pulgar derecho, sobre una muñequera, lo más cerca posible del centro de la articulación de la muñeca.
RWRB Right Wrist Marker B	En el lado del dedo meñique derecho, sobre una muñequera, lo más cerca posible del centro de la articulación de la muñeca.
RFIN Right finger	Proximal al nudillo medio de la mano derecha.

Miembro inferior

Marcadores de la pelvis	Ubicación
LASI Left ASIS	Colocado directamente sobre la espina ilíaca anterior superior izquierda
RASI Right ASIS	Colocado directamente sobre la espina ilíaca anterior superior derecha
LPSI Left PSIS	Colocado directamente sobre la espina ilíaca posterior superior izquierda
RPSI Right PSIS	Colocado directamente sobre la espina ilíaca posterior superior derecha

Marcadores de las piernas	Ubicación
LKNE Left knee	Colocado en el epicóndilo lateral de la rodilla izquierda.
LTHI Left thigh	Coloca el marcador sobre la superficie lateral a 1/3 inferior del muslo, justo debajo del giro de la mano, aunque la altura no es crítica.
LANK Left ankle	Situado en el maléolo lateral a lo largo de una línea imaginaria que pasa por el eje transmaleolar.
LTIB Left tibial	Similar a los marcadores del muslo, estos se colocan sobre el 1/3 inferior de la espiga para determinar la alineación del eje de flexión del tobillo.
RKNEE Right knee	Colocado en el epicóndilo lateral de la rodilla derecha.
RTHI Right thigh	Coloca el marcador sobre la superficie lateral a 1/3 superior del muslo, justo debajo del giro de la mano, aunque la altura no es crítica.
RANK Right ankle	Situado en el maléolo lateral a lo largo de una línea imaginaria que pasa por el eje transmaleolar.
RTIB Right tibial	Similar a los marcadores del muslo, estos se colocan sobre el 1/3 superior de la espiga para

	determinar la alineación del eje de flexión del tobillo.
Marcadores de los pies	Ubicación
LTOE Left toe	Colocado sobre la cabeza del segundo metatarso izquierdo.
LHEE Left heel	Colocado en el calcáneo, sobre la superficie plantar del pie, a la misma altura que el marcador del dedo del pie izquierdo.
RTOE Right toe	Colocado sobre la cabeza del segundo metatarso derecho.
RHEE Right heel	Colocado en el calcáneo sobre la superficie plantar del pie, a la misma altura que el marcador del dedo del pie derecho.

Nota: Las letras mayúsculas al inicio de las columnas de marcadores son las abreviaturas de las etiquetas que aparecerán en el sistema de captura de movimiento.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de Vicon Motion Systems (2017).

En la figura 7 se presenta el diagrama de bloques del sistema, para llevar a cabo la captura de movimiento, el cual está compuesto por cuatro bloques. En primer lugar, se realiza la calibración del sistema, posteriormente se captura al sujeto en posición estática; el sistema debe detectar los marcadores para que el sujeto ejecute el movimiento de interés (en este caso sería la marcha), y comenzar a grabar. Al finalizar las grabaciones deseadas se empieza con la reconstrucción; este paso es para corregir cualquier error que pueda tener el sistema en la detección de

marcadores mientras se produce el movimiento a estudiar. Finalmente, se concluye con el seguimiento de los marcadores para obtener y analizar los datos obtenidos.

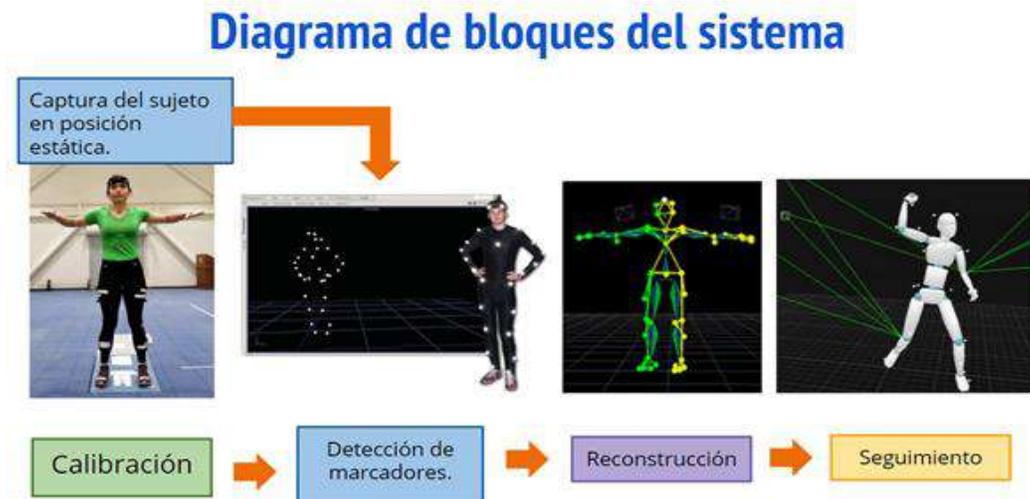


Figura 7. Procedimiento para realizar la captura de movimiento.

Fuente: Adaptado de González et al. (2018).

1.1.1.7 Aplicaciones del análisis de la marcha

La evaluación biomecánica de la marcha humana tiene gran importancia en la medicina y la ortopedia, se utiliza para llevar un control evaluativo en los tratamientos de rehabilitación, evaluar diversas patologías que afectan el patrón de marcha, diseño e innovación en la tecnología del movimiento (equipos de evaluación, dispositivos y sistemas de rehabilitación) y en la creación de prótesis humanas y de robots humanoides (Arellano-González et al., 2019). Este tipo de evaluaciones están ganando popularidad dentro de varias áreas investigativas, debido a las diversas aplicaciones derivadas de estos estudios. En este apartado, nos centraremos en la aplicación dentro de una de las áreas más relacionadas con la actividad física y el deporte, que es la aplicación clínica (rehabilitación), puesto que se encargan de resolver problemáticas del sistema motor que afectan el desenvolvimiento normal de una persona en sus actividades básicas, laborales y deportivas.

En la interpretación de los resultados obtenidos en el análisis biomecánico de la marcha, se deben incluir los antecedentes de la historia clínica y la información de la exploración física y funcional del paciente; esto para definir acertadamente las causas de cualquier alteración identificada.

Entre los aportes del análisis instrumental de la marcha, destacamos los siguientes: permiten entender sus alteraciones dinámicas, sus causas principales y secundarias, y las formas en las que el cuerpo humano compensa cuando existe algún factor limitante; favorece la planeación de los tratamientos dirigidos a resolver afecciones físicas, las decisiones quirúrgicas y es un medio efectivo para medir el progreso de un paciente después de ser sometido a alguna cirugía o tratamiento (Pérez et al. 2020, Capítulo 9, p. 71).

1.2 Composición corporal por bioimpedancia eléctrica (BIA)

En los últimos años, varios estudios han demostrado que el análisis de bioimpedancia (BIA) es un método más preciso que la antropometría para determinar la composición corporal (Alonso, 2018).

Otra de las ventajas de la bioimpedancia eléctrica es que es un método no invasivo, contrariamente a la antropometría, además no se requiere de un alto nivel técnico (Pecoraro et al., 2003) y se realiza una inversión única para conseguir el aparato, por lo que también se considera económico; la bioimpedancia eléctrica tiene un bajo porcentaje de sesgo por observación y además puede transportarse fácilmente permitiendo agilizar el tiempo dedicado a estos estudios, volviéndolo un proceso práctico con un alcance poblacional mayor.

La báscula de bioimpedancia eléctrica marca Tanita Body Fat Monitor/Scale (TANITA BF-689) (figura 8), que tiene una capacidad de 150 kg de peso, permite obtener el peso y catalogar a los niños de 5-17 años con base a su porcentaje de masa grasa. Se requiere introducir ciertos datos: fecha de nacimiento, género (femenino/masculino) y estatura; la TANITA BF 689 arrojó el peso y el porcentaje de grasa corporal, clasificando a los niños de acuerdo a ese porcentaje en cuatro

categorías identificadas por color: bajo peso, saludable, sobrepeso y obesidad (tabla 6).



Figura 8. Báscula Tanita Body Fat Monitor/Scale (TANITA BF-689).

Fuente: Tanita Corporation of America Inc. (2010).

Tabla 6. Clasificación según porcentaje de grasa de la TANITA BF-689.

Underfat/bajo peso	Por debajo del rango de grasa corporal saludable. Mayor riesgo de problemas de salud.
Healthy/saludable	Dentro del rango de porcentaje de grasa corporal saludable para su edad/género.
Overfat/sobrepeso	Por encima del rango saludable. Mayor riesgo de problemas de salud.
Obese/obeso	Muy por encima del rango de grasa corporal saludable. Aumento del riesgo de problemas de salud relacionados con la obesidad.

Fuente: elaboración propia con base en datos del manual para usuarios (Tanita Corporation of America Inc., 2010).

Capítulo 2

Planteamiento del problema

2.1 Planteamiento del problema

Uno de los problemas más alarmantes en Baja California es la obesidad infantil. La Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2018 (ENSANUT, 2018), confirmó que el sobrepeso y la obesidad son el problema nutricional más frecuente en la población escolar, adolescente y adulta del país. En 2016, se registró un 34.8% en los niños de 5 a 11 años de edad, siendo el 20.2% de sobrepeso y el 14.6% de obesidad. (ENSANUT, 2018).

La acumulación excesiva de grasa corporal en infantes desarrolla deformidades de miembros inferiores, problemas posturales y modifica la ejecución de diversas tareas, entre ellas la marcha (Villarrasa, 2019). La literatura estudiada comparte hallazgos similares acerca de la locomoción de los niños con exceso de masa adiposa; sostienen una caminata más lenta, mayor anchura de paso (Dufek et al., 2012), mayor exigencia articular (Shultz et al., 2009) y dificultad para mantener el equilibrio en los periodos de oscilación (Deforche et al., 2009).

La marcha humana es una actividad básica del ser humano; se podría afirmar que es una de las actividades físicas básicas que más realiza durante su vida; con base a este hecho, se fortalece la idea de indagar acerca del impacto negativo que genera el exceso de masa adiposa en el patrón de marcha desde la niñez.

Continuando con la problemática planteada, no se han encontrado estudios que tomen en cuenta el nivel de actividad física para el análisis biomecánico de la marcha en niños con obesidad.

Además de las alteraciones en los parámetros espaciotemporales de la marcha, los niños con exceso de masa corporal presentan dificultades en el control de la postura, equilibrio y cambios en la alineación articular de los miembros inferiores (cinemática). A pesar de que algunos autores sugieren que la debilidad muscular es uno de los factores que contribuye al mal desarrollo de la marcha infantil (Horsak et al., 2019), la mayoría de los programas de control de peso en niños se enfocan en

actividades aeróbicas o ejercicios que involucran el desplazamiento o movilidad de su propio peso corporal (Cordero et al., 2014).

Finalmente, teniendo evidencia de que la falta de fuerza afecta el ciclo de marcha en los niños, y la práctica regular de actividad física puede modificar la composición corporal (disminución de grasa corporal y aumento de masa muscular), el nivel de actividad física individual se incluirá dentro de la presente investigación.

Por lo antes expuesto se formularon las siguientes preguntas de investigación:

¿Cuáles son los efectos en la biomecánica de la marcha ocasionados por el exceso de grasa corporal?

¿Existe una relación entre los parámetros biomecánicos de la marcha, el porcentaje de grasa y el nivel de actividad física de niños y niñas de Mexicali, Baja California?

2.2 Justificación

La experimentación de la presente investigación se llevará a cabo en un laboratorio de análisis de movimiento que cuenta con equipo de alto nivel, el cual permitirá realizar una evaluación de la marcha infantil más certera y específica.

Los resultados de este estudio brindarán información valiosa tanto para profesores de educación física como para entrenadores, puesto que permitirán demostrar que la biomecánica de la marcha en los niños se relaciona con el porcentaje de grasa, y que el nivel de actividad física tiene una influencia positiva en la misma; estos resultados deberán ser el sustento científico para los especialistas en el ámbito sobre la evaluación diagnóstica previa a la creación y planificación de programas de ejercicio físico; los docentes de educación física deberán tomar en cuenta las características músculo-esqueléticas específicas que presentan los niños con exceso de grasa corporal y su nivel de actividad física, para elegir los ejercicios o actividades que se dirijan a cubrir eficientemente sus necesidades; del mismo modo, los entrenadores deberán analizar dichos resultados, y crear programas que sean

más seguros y funcionales para los niños con sobrepeso u obesidad, tomando en cuenta además su nivel de actividad física.

Si las hipótesis de esta investigación son ciertas, el nivel de actividad física será un parámetro importante a tomar en cuenta dentro de las próximas investigaciones y análisis biomecánicos de la marcha infantil.

Tres de las áreas más relevantes para los profesionales de la actividad física, son la educación física, el deporte escolar y el ejercicio para la salud. Es de suma importancia que tanto docentes, educadores físicos y entrenadores nos mantengamos en constante actualización para incrementar la calidad de nuestro perfil profesional. Con la finalidad de mejorar nuestras intervenciones, es necesario adquirir sustento teórico y científico; teniendo estas herramientas como base, podremos adaptar correctamente el conocimiento obtenido a las necesidades vigentes, y de esta manera evolucionar en nuestras competencias profesionales.

2.3 Hipótesis

- El exceso de grasa corporal impacta negativamente los parámetros espaciotemporales y cinemáticos de la marcha.
- El nivel de actividad física se relaciona positivamente con el porcentaje de grasa y los valores espacio-temporales y cinemáticos de la marcha.

2.4 Objetivo General

Analizar la biomecánica de la marcha según la clasificación obtenida por bioimpedancia eléctrica basada en el porcentaje de grasa corporal, considerando el nivel de actividad física de niños/as de Mexicali, Baja California.

2.5 Objetivos Específicos

1. Aplicar el cuestionario PAQ-C para conocer su nivel de actividad física.
2. Valorar el porcentaje de grasa por medio de bioimpedancia eléctrica.
3. Evaluar los parámetros espaciotemporales (longitud de paso, longitud de zancada, ancho de paso) y cinemáticos del ciclo de la marcha con el sistema *Vicon Nexus*.
4. Identificar la relación entre los parámetros espacio-temporales y cinemáticos de la marcha, el porcentaje de grasa y el nivel de actividad física.

Capítulo 3

Metodología

3.1 Participantes

Participantes del estudio

Se evaluó una muestra por conveniencia de 10 niños y niñas de diferentes primarias de Mexicali, Baja California, con una edad promedio de (10.30 ± 1.25) años. La muestra fue por conveniencia a causa de la pandemia por COVID-19 que se vive a nivel mundial. Los participantes se dividieron en tres grupos de acuerdo a su clasificación obtenida por la bioimpedancia eléctrica, dos en clasificación sobrepeso con un porcentaje de grasa promedio (29.70 ± 1.41) , tres en obesidad (36.03 ± 5.80) y cinco en clasificación saludable (20.58 ± 2.75) . Fueron excluidos los niños que se clasificaron en bajo peso, los que presentaron alguna discapacidad motriz, lesión en los últimos seis meses o herida reciente en el área donde se colocarían los marcadores. Antes de llevar a cabo el procedimiento se les explicó detalladamente a los padres de familia o tutores de los niños en qué consistía dicho estudio. Posteriormente, si estuvieron de acuerdo, dieron su consentimiento por escrito, antes de que sus hijos participaran en el estudio. La carta de consentimiento está descrita en el apartado de anexos (anexo 1).

Los participantes fueron inicialmente evaluados mediante el cuestionario PAQ-C (anexo 2) para valorar su nivel de actividad física, el cual ha mostrado intervalo de confianza del 95%, lo que indica una fiabilidad buena o excelente (Manchola-Gonzalez et al., 2017). Dichos resultados se pueden observar en la tabla 7.

La estatura se midió con un estadiómetro de pared graduado en centímetros presentando una escala de 0 a 250cm (SECA). Con la báscula TANITA BF-689, se determinó la composición corporal, el peso en kg, porcentaje de grasa y clasificación. Los resultados se presentan en la tabla 7.

Tabla 7. Registro de los participantes, su clasificación con la báscula TANITA BF-689 y nivel de actividad física (NAF) evaluado con el cuestionario PAQ-C.

SUJETO	GENERO	EDAD (años)	PESO (Kg)	ESTATURA (m)	IMC	GRASA CORPORAL (%)	CLASIFICACIÓN	NAF
Sujeto 1	F	10	43.90	1.30	85	38	Obesidad	63 pts
Sujeto 2	F	9	51.20	1.51	97	31	Sobrepeso	56 pts
Sujeto 3	F	9	28.70	1.23	50	29	Sobrepeso	71 pts
Sujeto 4	M	11	57.50	1.47	95	41	Obesidad	71 pts
Sujeto 5	M	9	35.00	1.30	85	30	Obesidad	69 pts
Sujeto 6	F	12	37.40	1.47	25	23	Saludable	83 pts
Sujeto 7	M	11	44.20	1.53	75	17	Saludable	75 pts
Sujeto 8	F	9	28.10	1.28	25	22	Saludable	90 pts
Sujeto 9	M	12	35.40	1.38	50	18	Saludable	84 pts
Sujeto 10	F	11	42.70	1.52	75	23	Saludable	56 pts

En la tabla 7 se observa que los sujetos 3 y 9 obtuvieron el mismo valor de IMC, con una diferencia de 11% en el porcentaje de grasa, siendo mayor en el sujeto 3. La TANITA BF-689 clasificó al sujeto 3 en sobrepeso, y al sujeto 9 en saludable. Respecto a los porcentajes de grasa del sujeto 2 y 5, se identifica una diferencia mínima (1%), sin embargo, el sujeto 2 presentó mayor estatura (diferencia de 21 cm), por esta razón se catalogó en sobrepeso, y el sujeto 5 en obesidad.

Dado que todos los participantes obtuvieron una puntuación entre 56-90 puntos (puntaje medio) en el cuestionario para medir su nivel de actividad física (NAF) PAQ-C, se ha considerado que todos tienen un nivel de actividad física moderado.

En la tabla 8 se observan las mediciones antropométricas de los participantes en clasificación saludable y en la tabla 9 las mediciones de los participantes de la clasificación en sobrepeso y obesidad, se midieron a cada uno de los participantes previo a la captura del análisis de la marcha, utilizando una cinta métrica flexible y un antropómetro Layette 30 cm.

Tabla 8. Registro de las dimensiones antropométricas de los participantes de la clasificación saludable.

Mediciones antropométricas (cm)										
Participantes en clasificación saludable										
Parámetro	Sujeto 1		Sujeto 2		Sujeto 3		Sujeto 4		Sujeto 5	
	Izq	Der								
Longitud de pierna	81.2	81.7	83	82	68.5	68.8	72.5	72.5	83.3	83.5
Diámetro de rodilla	8.6	8.8	9.7	9.6	8.1	8.2	8.8	8.8	9.2	9.2
Diámetro de tobillo	6.2	6.2	6.9	6.9	5.7	5.8	6	6.3	6.3	6.2
Desplazamiento de hombro	4.8	4.7	4.6	4.5	3.2	3.3	3.3	3.1	4.3	4.2
Diámetro de codo	5.5	5.6	6.5	6.5	5.4	5.3	5.6	5.6	6	6.1
Diámetro de muñeca	5.1	5.1	5.3	5.4	4.5	4.6	4.2	4.3	4.9	4.9
Espesor de mano	2.3	2.2	2.5	2.5	2.1	2.1	2.1	2.3	2.3	2.3

Tabla 9. Registro de las dimensiones antropométricas de los participantes de la clasificación sobrepeso y obesidad.

Mediciones antropométricas (cm)										
Participantes en clasificación sobrepeso y obesidad										
Parámetro	Sujeto 1		Sujeto 2		Sujeto 3		Sujeto 4		Sujeto 5	
	Izq	Der								
Longitud de pierna	72.6	72.5	84.7	84.5	64.1	64	76.8	77.2	68.5	69
Diámetro de rodilla	9.1	8.9	9.5	9.1	7.9	8	10.1	10.2	8.8	8.8
Diámetro de tobillo	6.1	6	6.4	6.2	5.5	5.4	6.6	6.7	6.1	6.3
Desplazamiento de hombro	5.1	5.3	5.7	5.5	4.4	4.3	5	4.8	3.6	3.7
Diámetro de codo	6.2	6.2	6	6	5.3	5.4	6.3	6.2	5.4	5.4
Diámetro de muñeca	4.7	4.8	4.9	5	4.2	4.2	5.1	5.0	4.5	4.8
Espesor de mano	2.4	2.5	2.3	2.3	2.1	2.1	2.2	2.2	1.9	2

3.2 Evaluación biomecánica de la marcha

La evaluación biomecánica de la marcha se realizó en el laboratorio de biomecánica y ergonomía en la Facultad de Deportes, campus Mexicali, de la Universidad Autónoma de Baja California, ubicado en Monclova S/N, Ex. Ejido Coahuila, C.P. 21360 Mexicali, Baja California, México; el cual cuenta con un equipo de captura de movimiento Vicon®, está conformado con 11 cámaras infrarrojas Bonita 10b y 2 cámaras de video Bonita 720c de alta velocidad, con una frecuencia de muestreo de 100 Hz. Una vez definido el punto de origen, se define el modelo (Plug in Gait) utilizando 39 marcadores reflectantes asociados a referencias anatómicas. Para el registro de las fuerzas de reacción del suelo se han utilizado el sistema BIOVEC™ de AMTI™ (cuatro plataformas de fuerzas). Con una frecuencia de muestreo de 1000 Hz. Todos los equipos han sido sincronizados y analizados a través del software de Nexus 2.0. Los datos han sido filtrados con el filtro Butterworth.

Se realizaron tres ensayos de marcha por cada participante, se les solicitó que se desplazaran caminando descalzos a lo largo del laboratorio, iniciando siempre con el mismo pie (derecho), con una velocidad que ellos mismo seleccionaron. Para las pruebas los participantes masculinos utilizaron pantalón corto ajustado y las participantes femeninas utilizaron top y pantalón corto ajustado. Para el análisis biomecánico se seleccionó el mejor ensayo realizado.

3.3 Diseño de estudio

Estudio transversal correlacional

Se realizó un análisis cuantitativo de los parámetros **espaciotemporales** (longitud de zancada, velocidad, tiempo de doble apoyo, cadencia de pasos y longitud de paso), **cinemáticos** (ángulo de cadera, rodilla y tobillo) y **cinéticos** (aterrizaje, valle, impulso vertical, freno, impulso anteroposterior, medial y lateral) de la marcha en los niños, se clasificaron de acuerdo a su porcentaje de grasa corporal y nivel de actividad física, con el objetivo de comparar los resultados de

niños en clasificación SOBREPESO - OBESO y clasificación SALUDABLE e identificar si la biomecánica de la marcha se modifica respecto a estas dos variables (porcentaje de grasa y nivel de actividad física).

3.4 Análisis biomecánico

El análisis biomecánico de la marcha de cada uno de los participantes se llevó a cabo utilizando la herramienta de Microsoft con la paquetería de Excel 2013, con la cual se analizaron las variables espacio-temporales (longitud de zancada, longitud de paso, velocidad del centro de masa, cadencia, tiempo de doble apoyo), las variables cinemáticas (ángulo de rodilla, ángulo de cadera y ángulo de tobillo) y las variables cinéticas (Aterrizaje, valle, impulso vertical, freno, impulso anteroposterior, lateral y medial); de esta manera se obtuvieron los datos y gráficos necesarios para interpretar los resultados.

3.5 Análisis Estadístico

Se determinó la estadística descriptiva para todas las variables, se presentan las medias, desviaciones estándar (DE), máximo y mínimo. Se realizó la prueba de normalidad, aplicando la prueba de Shapiro Wilk; dado que no todas las variables cumplieron con dicha prueba se aplicaron pruebas no paramétricas. En las correlaciones se implementó el método no paramétrico de Spearman, con un criterio de significancia de $p < 0.05$. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el software IBM SPSS versión 23 (SPSS Inc; Chicago, IL, EE. UU).

Capítulo 4.

Resultados

4.1 Resultados análisis biomecánico

En este estudio se analizaron diez niños clasificados en tres grupos: cinco participantes con porcentaje de grasa saludable, que son el 50%, dos con sobrepeso (representan el 20%) y tres con obesidad (30%).

Se presentan los ángulos de cadera, rodilla y tobillo durante el ciclo de la marcha de los tres grupos: saludable, sobrepeso y obesidad. La tabla 10 muestra los resultados obtenidos en los ángulos de cadera izquierda del grupo sobrepeso y obesidad. En la tabla 11 se encuentran los resultados obtenidos de la misma variable del grupo saludable.

Tabla 10. Comportamiento cinemático de la cadera izquierda.

ÁNGULO DE CADERA (IZQUIERDA)		
PARTICIPANTES EN CLASIFICACIÓN SOBREPESO Y OBESIDAD		
SUJETO	FLEXIÓN	EXTENSIÓN
1	30.81	-14.89
2	34.79	-14.92
3	40.26	-12.06
4	25.20	-25.80
5	43.86	-14.33

Tabla 11. Comportamiento cinemático de la cadera izquierda.

ÁNGULO DE CADERA (IZQUIERDA)		
PARTICIPANTES EN CLASIFICACIÓN SALUDABLE		
SUJETO	FLEXIÓN	EXTENSIÓN
1	28.32	-23.03
2	28.36	-18.15
3	36.61	-7.21
4	42.35	-5.54
5	25.90	-17.59

En la figura 9 se observa el comportamiento cinemático de la cadera izquierda en tres de los participantes según su clasificación: saludable, sobrepeso, obesidad.

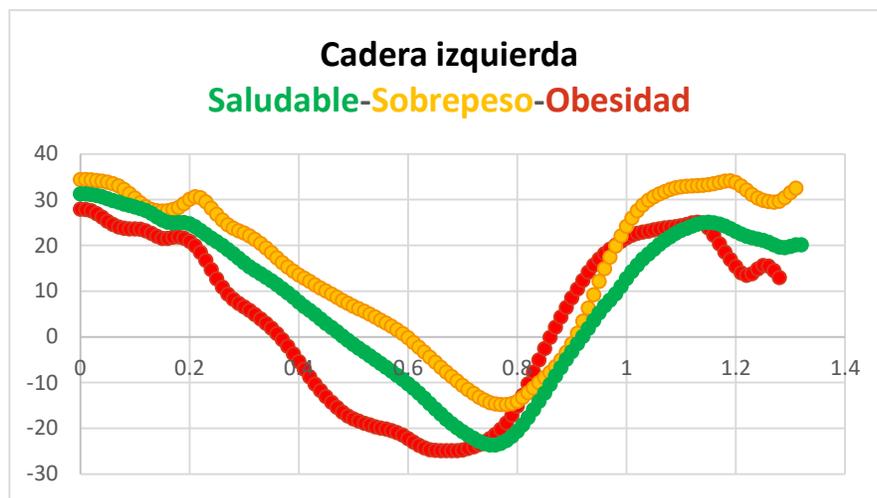


Figura 9. Gráfica comparativa del ángulo de la cadera izquierda durante el ciclo de marcha de tres participantes.

Tabla 12. Comportamiento cinemático de la cadera derecha de los participantes en las clasificaciones sobrepeso y obesidad.

ÁNGULO DE CADERA (DERECHA)		
PARTICIPANTES EN CLASIFICACIÓN SOBREPESO Y OBESIDAD		
SUJETO	FLEXIÓN	EXTENSIÓN
1	30.07	-12.21
2	34.64	-10.21
3	30.98	-13.87
4	26.72	-23.46
5	41.27	-14.94

Tabla 13. Comportamiento cinemático de la cadera derecha de los participantes en clasificación saludable.

ÁNGULO DE CADERA (DERECHA)		
PARTICIPANTES EN CLASIFICACIÓN SALUDABLE		
SUJETO	FLEXIÓN	EXTENSIÓN
1	28.01	-23.01
2	36.72	-9.87
3	39.90	-3.06
4	37.26	-3.71
5	27.48	-14.98

En la figura 10 se observa el comportamiento cinemático de la cadera derecha en tres de los participantes según su clasificación: saludable, sobrepeso y obesidad.

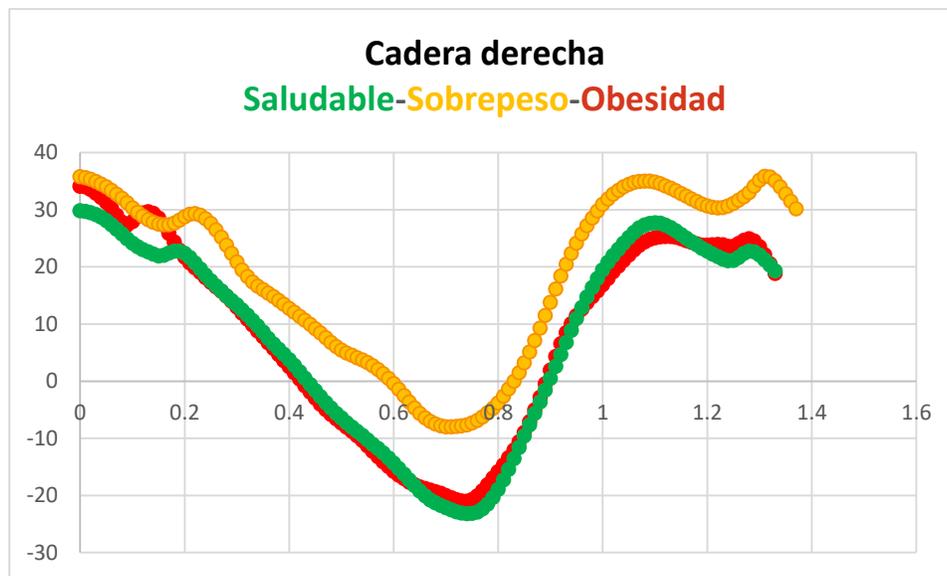


Figura 10. Gráfica comparativa del ángulo de la cadera derecha durante el ciclo de marcha de tres participantes.

Tabla 14. Comportamiento cinemático de la rodilla izquierda de los participantes en clasificación sobrepeso y obesidad.

ÁNGULO DE RODILLA IZQUIERDA				
PARTICIPANTES EN CLASIFICACIÓN SOBREPESO Y OBESIDAD				
SUJETO	FLEXIÓN	EXTENSIÓN	FLEXIÓN	EXTENSIÓN
1	61.87	-1.89	9.66	-3.54
2	58.99	1.81	15.85	-0.28
3	56.99	-2.50	13.71	-1.13
4	43.31	-4.44	7.51	-2.56
5	63.86	11.81	34.38	9.19

Tabla 15. Comportamiento cinemático de la rodilla izquierda de los participantes en clasificación saludable.

ÁNGULO DE RODILLA IZQUIERDA				
PARTICIPANTES EN CLASIFICACIÓN SALUDABLE				
SUJETO	FLEXIÓN	EXTENSIÓN	FLEXIÓN	EXTENSIÓN
1	57.26	6.49	20.33	8.74
2	56.89	-4.76	13.31	-0.07
3	54.36	-3.48	3.45	-1.73
4	60.34	4.05	18.85	5.02
5	54.57	-4.58	7.59	-0.15

En la figura 11 se observa el comportamiento cinemático de la rodilla izquierda de tres de los participantes según su clasificación: saludable, sobrepeso y obesidad.

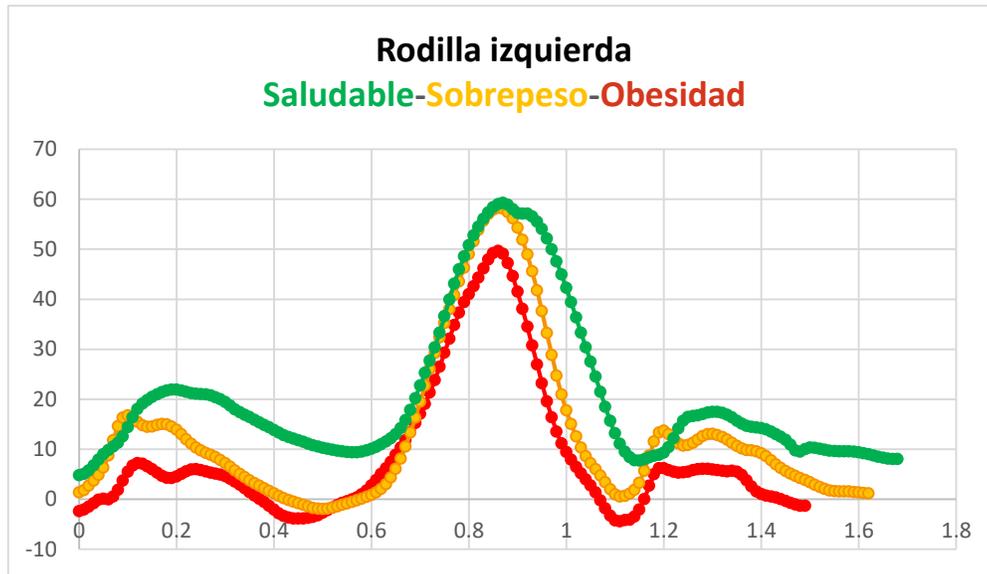


Figura 11. Gráfica comparativa del ángulo de rodilla izquierda durante el ciclo de marcha de tres participantes.

Tabla 16. Comportamiento cinemático de la rodilla derecha de los participantes en clasificación sobrepeso y obesidad.

ÁNGULO DE RODILLA DERECHA				
PARTICIPANTES EN CLASIFICACIÓN SOBREPESO Y OBESIDAD				
SUJETO	FLEXIÓN	EXTENSIÓN	FLEXIÓN	EXTENSIÓN
1	58.83	-5.06	4.05	-6.21
2	60.15	-4.92	16.24	2.57
3	36.15	-1.73	8.17	-1.21
4	53.37	1.36	13.05	-0.54
5	55.36	-6.30	7.08	2.86

Tabla 17. Comportamiento cinemático de la rodilla derecha de los participantes en clasificación saludable.

ÁNGULO DE RODILLA DERECHA				
PARTICIPANTES EN CLASIFICACIÓN SALUDABLE				
SUJETO	FLEXIÓN	EXTENSIÓN	FLEXIÓN	EXTENSIÓN
1	59.06	3.94	20.48	8.11
2	60.83	7.65	19.53	9.79
3	60.57	0.53	10.50	1.89
4	55.04	-6.79	9.87	0.19
5	54.57	-4.58	7.59	-0.15

En la figura 12 se observa el comportamiento cinemático de la rodilla derecha de tres de los participantes según su clasificación: saludable, sobrepeso y obesidad.

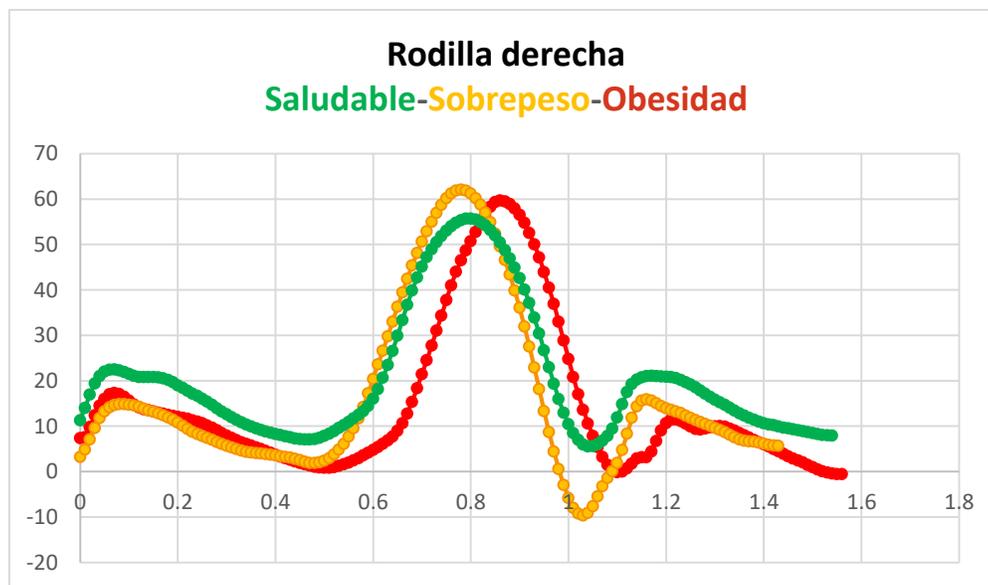


Figura 12. Gráfica del ángulo de rodilla derecha durante el ciclo de marcha de tres de los participantes.

Tabla 18. Comportamiento cinemático del tobillo izquierdo de los participantes en clasificación sobrepeso y obesidad.

ÁNGULO DE TOBILLO IZQUIERDO				
PARTICIPANTES EN CLASIFICACIÓN SOBREPESO Y OBESIDAD				
SUJETO	Max FD-A	Max FP-O	Max FD-O	Max FP-A
1	15.58	-5.55	5.43	-7.35
2	11.07	-14.01	6.09	-4.25
3	11.24	-17.05	11.93	0.74
4	12.88	-24.50	9.67	-14.64
5	17.61	-17.35	8.93	-4.80

Tabla 19. Comportamiento cinemático del tobillo izquierdo de los participantes en clasificación saludable.

ÁNGULO DE TOBILLO IZQUIERDO				
PARTICIPANTES EN CLASIFICACIÓN SALUDABLE				
SUJETO	Max FD-A	Max FP-PO	Max FD-O	Max FP-A
1	18.14	-13.49	8.63	-0.27
2	18.36	-15.70	7.54	-3.04
3	16.22	-5.07	11.95	-2.87
4	12.06	-11.34	11.70	1.95
5	18.94	-23.94	9.62	-8.96

En la figura 13 se observa el comportamiento cinemático del tobillo izquierdo de tres de los niños según su clasificación: saludable, sobrepeso y obesidad.

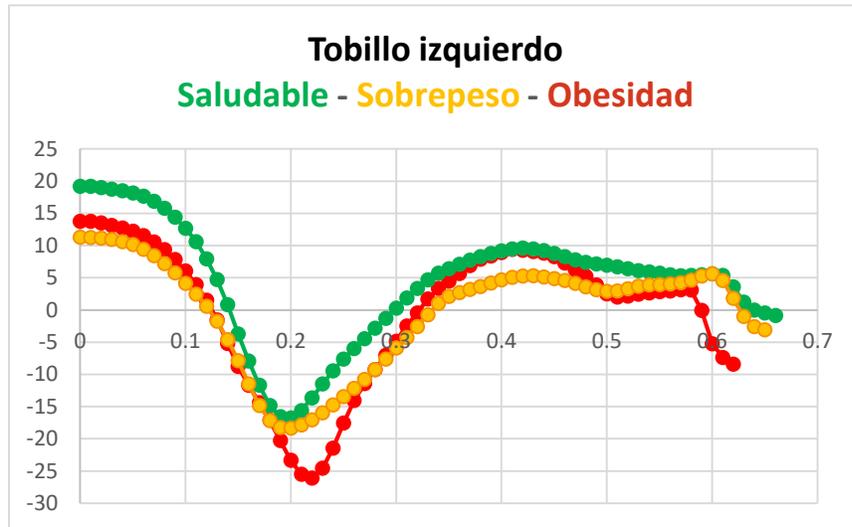


Figura 13. Gráfica del ángulo de tobillo izquierdo durante el ciclo de marcha de tres participantes.

Tabla 20. Comportamiento cinemático del tobillo derecho de los participantes en clasificación sobrepeso y obesidad.

ÁNGULO DE TOBILLO DERECHO				
PARTICIPANTES EN CLASIFICACIÓN SOBREPESO Y OBESIDAD				
SUJETO	Max FD-A	Max FP-O	Max FD-O	Max FP-A
1	19.04	-0.89	6.29	-6.47
2	16.18	-15.05	6.49	-3.81
3	30.02	-16.97	26.63	-3.18
4	25.65	-22.24	9.27	-6.31
5	19.00	-17.94	9.35	-5.16

Tabla 21. Comportamiento cinemático del tobillo derecho de los participantes en clasificación saludable.

ÁNGULO DE TOBILLO DERECHO				
PARTICIPANTES EN CLASIFICACIÓN SALUDABLE				
SUJETO	Max FD-A	Max FP-O	Max FD-O	Max FP-A
1	16.57	-7.50	10.72	-2.02
2	24.06	-14.62	16.99	-0.33
3	18.68	-10.39	11.64	3.54
4	12.44	-11.22	10.50	-7.48
5	18.00	-29.50	8.72	-17.01

En la figura 14 se observa el comportamiento cinemático del tobillo derecho de tres de los niños según su clasificación: saludable, sobrepeso y obesidad.

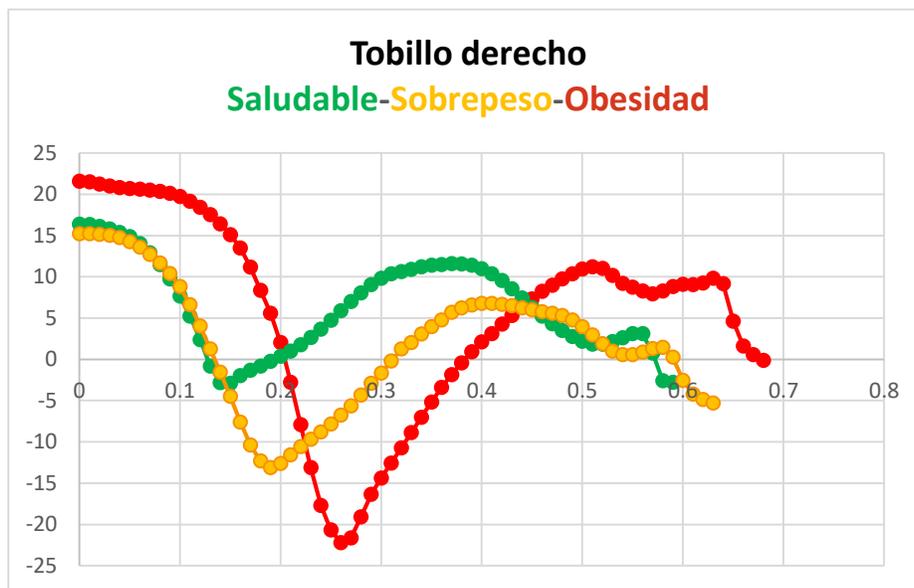


Figura 14. Gráfica del ángulo de tobillo derecho durante el ciclo de marcha de tres participantes.

Los resultados de los parámetros espaciotemporales y cinéticos se encuentran en el apartado de anexos (anexo 3).

4.2 Análisis estadístico

En la tabla 22 se observa la estadística descriptiva de cada una de las variables evaluadas en el estudio.

Tabla 22. Estadística descriptiva de cada una de las variables.

Variables	Media (95% IC)	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Edad	10.30	1.25	9	12
Peso	40.4100	9.38	28.10	57.50
Estatura	1.3990	.1139	1.23	1.53
IMC	66.20	26.99	25	97
Grasa	27.04	7.92	17	41
Nivel AF	71.80	11.55	56	90
Longitud de zancada izquierda (m)	1.1510	.120	.95	1.28
Longitud de zancada derecha (m)	1.1490	.125	.94	1.30
Velocidad promedio (m/s)	1.0890	.0699	1.01	1.20
Cadencia de pasos	114.62	10.14	100.04	130.04
Longitud de paso	574.18	60.32	475.93	646.53
Ángulo de cadera izquierda (flexión-oscilación)	33.64	6.91	25.20	43.86
Ángulo de cadera izquierda (extensión-apoyo)	-15.3520	6.28	-25.80	-5.54
Ángulo de cadera derecha (flexión-oscilación)	33.30	5.34	26.72	41.27
Ángulo de cadera derecha (extensión-apoyo)	-12.93	6.84	-23.46	-3.06
Ángulo de rodilla izquierda (flexión-oscilación)	56.84	5.63	43.31	63.86
Ángulo de rodilla izquierda (extensión-oscilación)	.2510	5.63	-4.76	11.81
Ángulo de rodilla izquierda (flexión-apoyo)	14.46	8.78	3.45	34.38
Ángulo de rodilla izquierda (extensión-apoyo)	1.3490	4.61	-3.54	9.19
Ángulo de rodilla derecha (flexión-oscilación)	55.39	7.29	36.15	60.83

Variables	Media (95% IC)	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Ángulo de rodilla derecha (extensión-oscilación)	-1.59	4.83	-6.79	7.65
Ángulo de rodilla derecha (flexión-apoyo)	11.65	5.52	4.05	20.48
Ángulo de rodilla derecha (extensión-apoyo)	1.73	4.59	-6.21	9.79
Ángulo de tobillo izquierdo (Flex.Dorsal-Apoyo)	15.21	3.11	11.07	18.94
Ángulo de tobillo izquierdo (Flex.Plantar-Oscilación)	-14.80	6.53	-24.50	-5.07
Ángulo de tobillo izquierdo (Flex.Dorsal-Oscilación)	8.87	2.41	5.43	11.95
Ángulo de tobillo izquierdo (Flex.Plantar-Apoyo)	-4.34	4.97	-14.64	1.95
Ángulo de tobillo derecho (Flex.Dorsal-Apoyo)	19.96	5.16	12.44	30.02
Ángulo de tobillo derecho (Flex.Plantar-Oscilación)	-14.63	7.92	-29.50	-8.9
Ángulo de tobillo derecho (Flex.Dorsal-Oscilación)	11.66	6.05	6.29	26.63
Ángulo de tobillo derecho (Flex.Plantar-Apoyo)	-4.82	5.39	-17.01	3.54
Doble apoyo	.1250	.02014	.09	.15
Aterrizaje pierna izquierda	1.13	.0823	1.03	1.24
Aterrizaje pierna derecha	1.10	.0829	.98	1.25
Valle pierna izquierda	.7980	.0748	.68	.90
Valle pierna derecha	.8080	.0651	.72	.92
Impulso pierna izquierda (Fz)	1.07	.087	.95	1.19
Impulso pierna derecha (Fz)	1.04	.092	.93	1.23
Freno pierna izquierda (Fy)	-.1680	.040	-.23	-.10
Freno pierna derecha (Fy)	-.1630	.037	-.22	-.12
Impulso pierna izquierda (Fy)	.1800	.025	.14	.23
Impulso pierna derecha (Fy)	.1870	.020	.16	.21
Lateral pierna izquierda (Fx)	-.0240	.022	-.08	.00

Variables	Media (95% IC)	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Lateral pierna derecha (Fx)	.0310	.026	.00	.08
Medial pierna izquierda (Fx)	.0730	.020	.05	.11
Medial pierna derecha (Fx)	-.0540	.017	-.08	-.03

En la figura 15 se presenta el rango de las edades de los participantes de este estudio, siendo los del grupo saludable mayores comparados con los grupos sobrepeso y obesidad. Como se aprecia en la figura los participantes con menor edad fueron los del grupo de sobrepeso. Se obtuvo un promedio de edad (10.30 ± 1.25) en años.

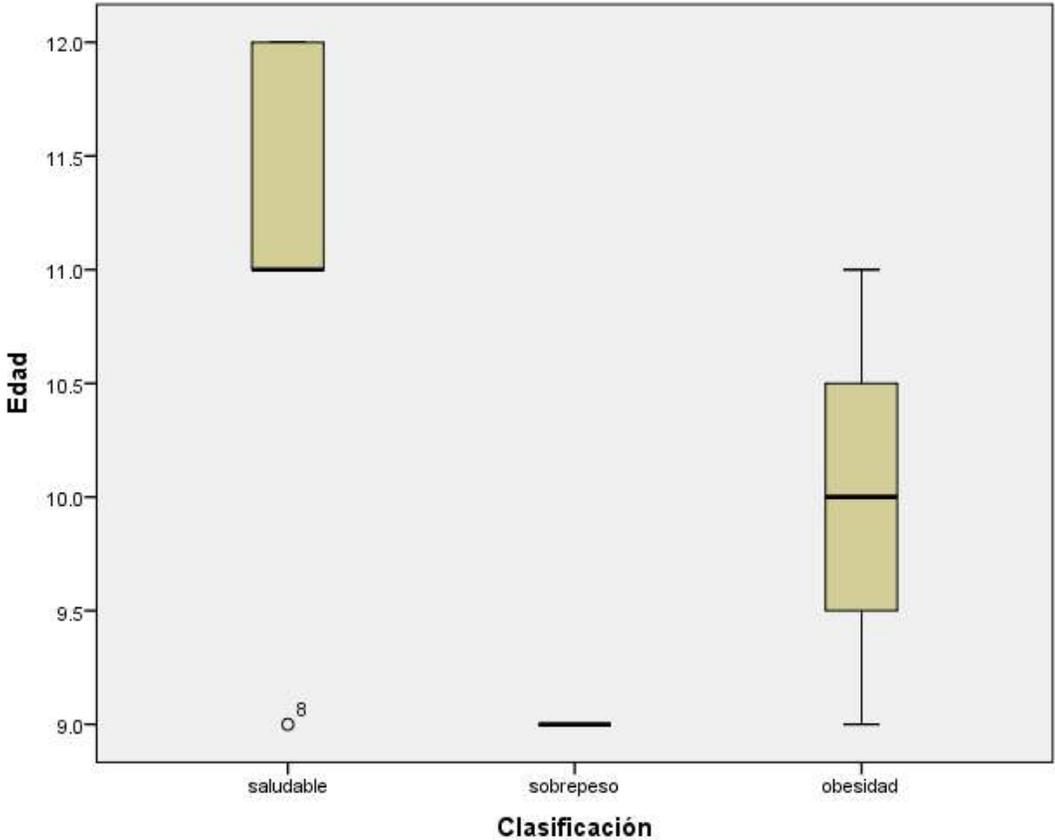


Figura 15. Gráfica de edad de los tres grupos: saludable, sobrepeso y obesidad.

En la figura 16 se muestran los rangos de peso de las tres clasificaciones. Se obtuvo un promedio (40.41 ± 9.38) de peso en kg, un valor máximo 57.50 y un mínimo de 28.10. Los participantes con mayor peso fueron los del grupo obesidad, después los del grupo sobrepeso y finalmente los del grupo saludable.

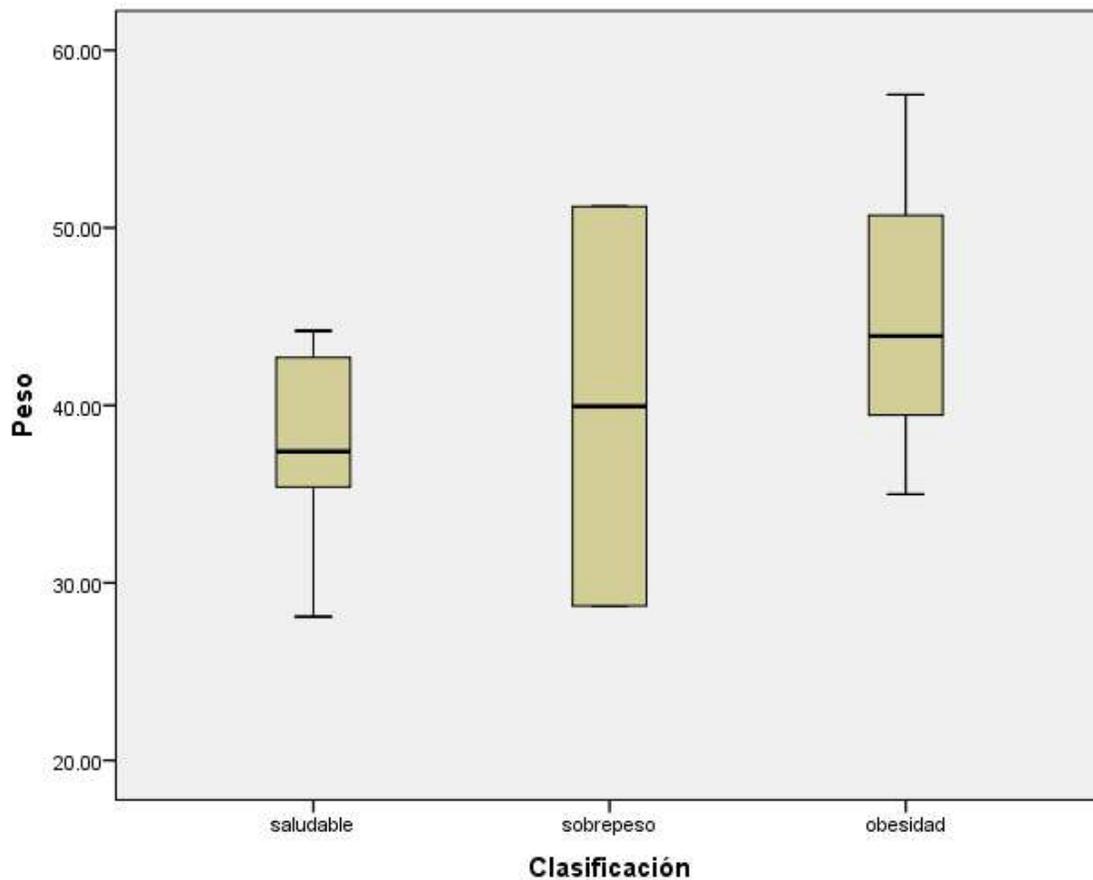


Figura 16. Gráfica de peso de los tres grupos: saludable, sobrepeso y obesidad.

En la figura 17 se presenta la gráfica de estatura de las tres clasificaciones. Los participantes en clasificación saludable mostraron una estatura mayor en comparación a los participantes en clasificación sobrepeso y obesidad. Los participantes con menor estatura fueron los del grupo obesidad. Se obtuvo un valor máximo de 1.53 y un valor mínimo de 1.23.

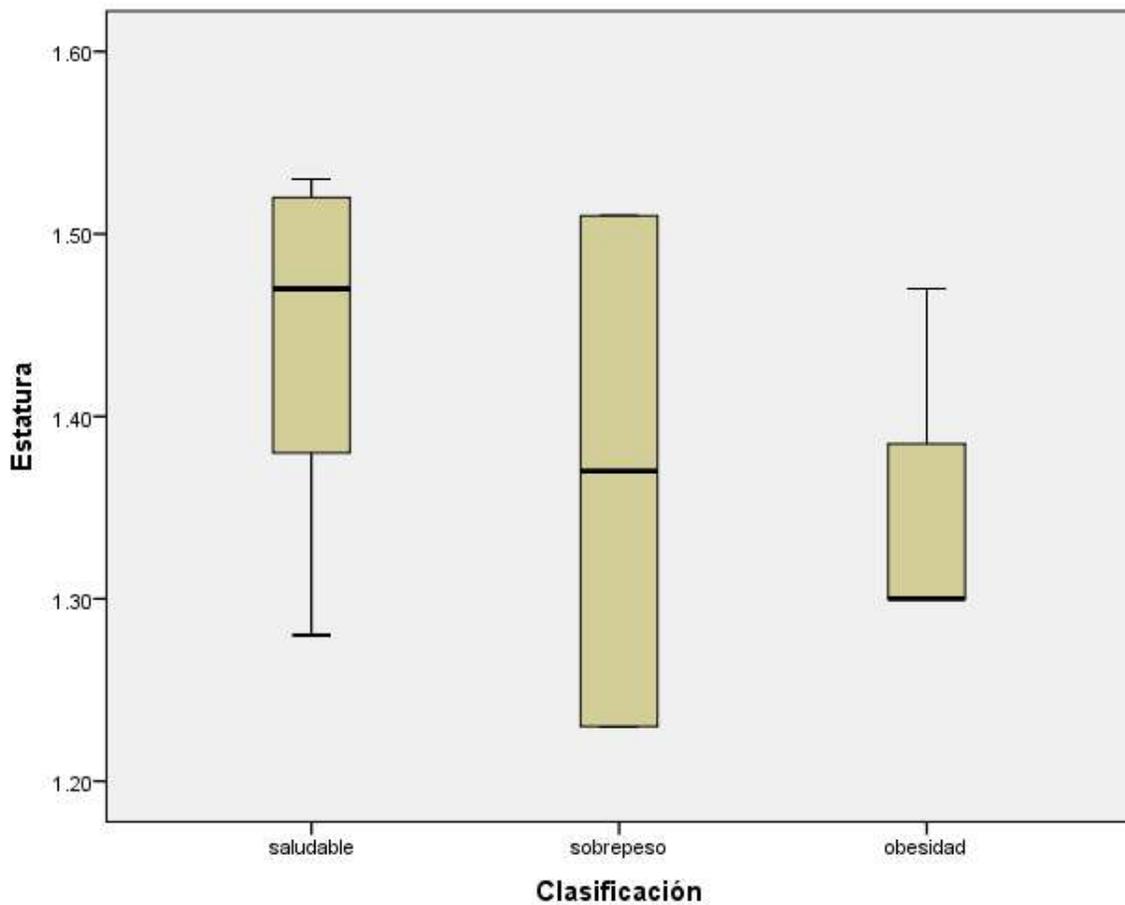


Figura 17. Gráfica de la estatura de las tres clasificaciones.

En la figura 18 se muestra la gráfica de índice de masa corporal (IMC). Se obtuvo un valor máximo de 97 y un valor mínimo de 25. Los participantes con menor IMC fueron los de clasificación saludable, después los de sobrepeso y los de mayor IMC fueron los participantes clasificados en obesidad.

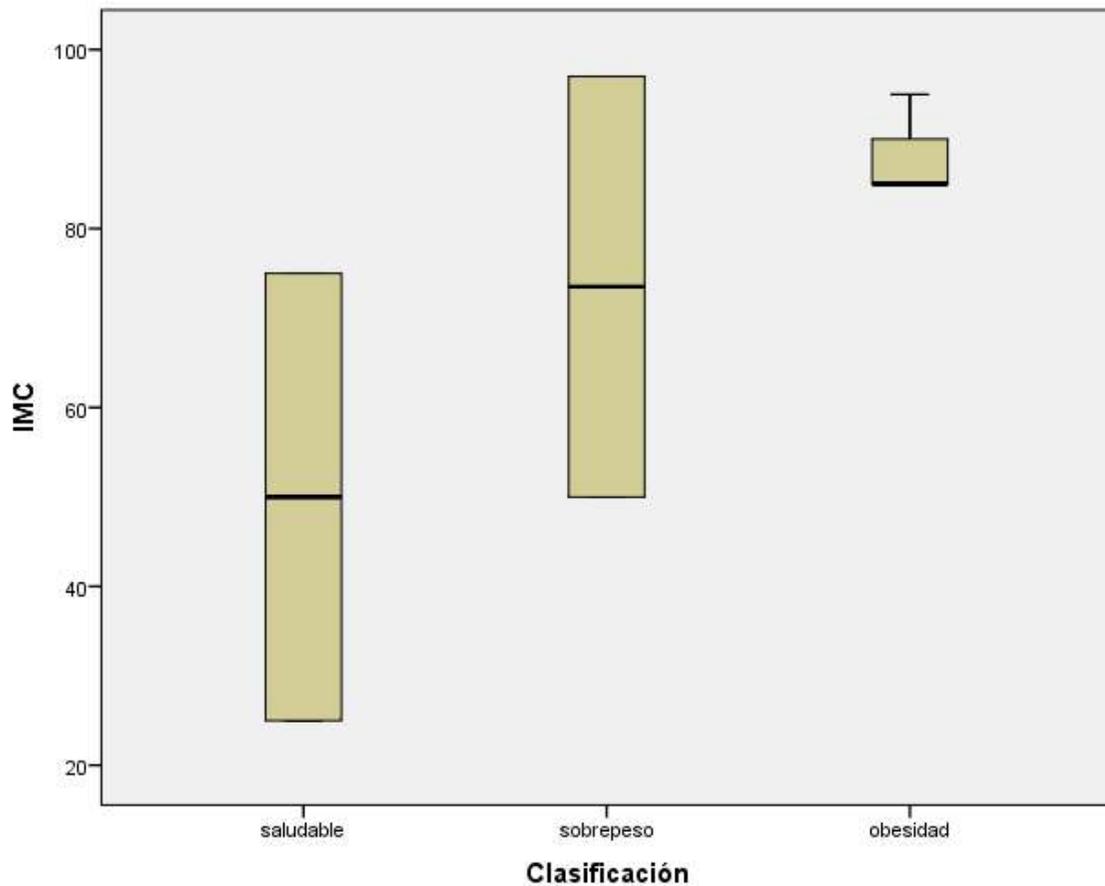


Figura 18. Gráfica del índice de masa corporal (IMC) de las tres clasificaciones.

En la figura 19 se presenta el porcentaje de grasa corporal de los participantes que participaron en el estudio. Los participantes con menor porcentaje de grasa fueron los clasificados en saludable, mientras que los niños con mayor porcentaje de grasa se clasificaron en obesidad. Se obtuvo un valor máximo de 41 y un valor mínimo de 17.

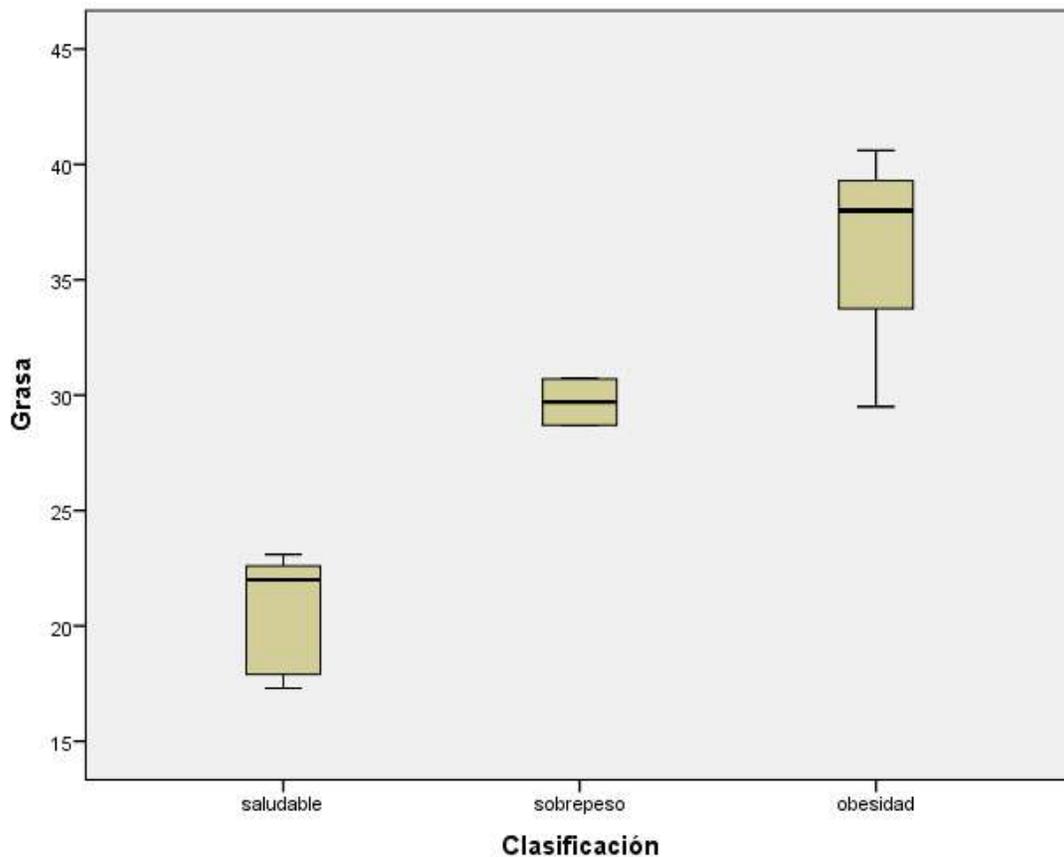


Figura 19. Gráfica de % grasa de las tres clasificaciones: saludable, sobrepeso y obesidad.

En la figura 20 se muestran los rangos de nivel de actividad física de los participantes. Se observa que el grupo saludable obtuvieron un mayor nivel de actividad, posteriormente los participantes en obesidad, mientras que los participantes en sobrepeso presentaron el menor nivel de actividad física.

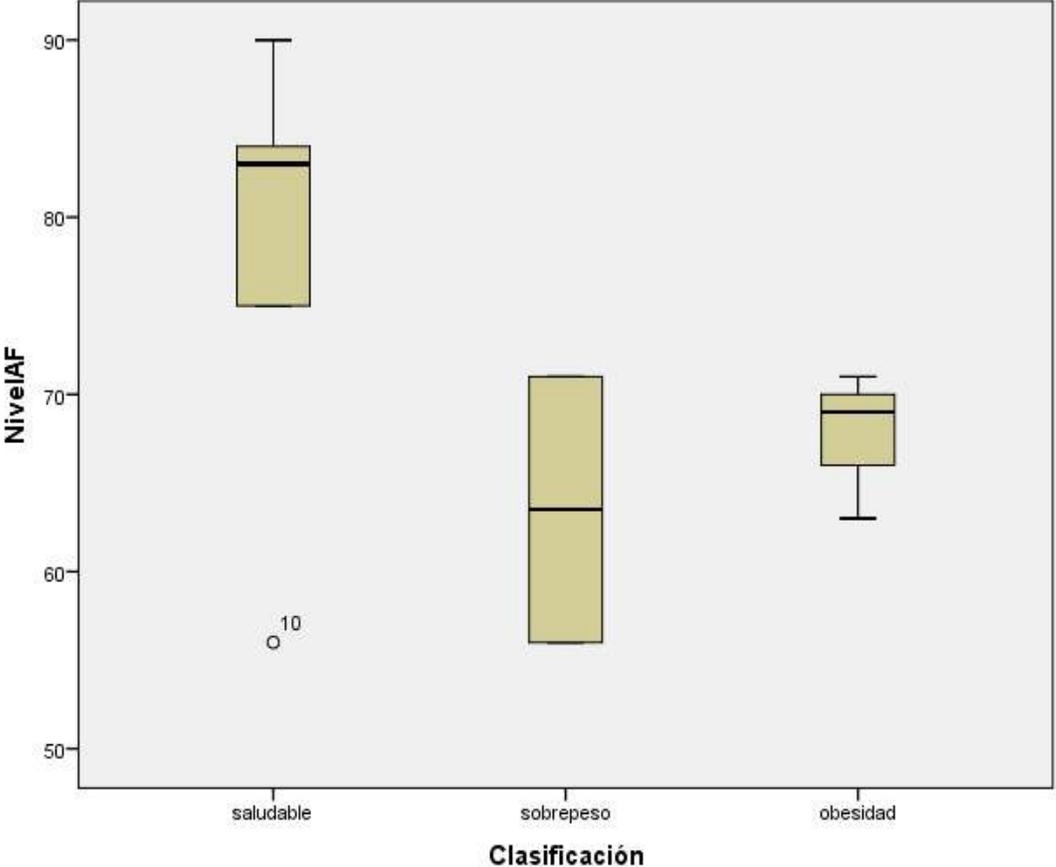


Figura 20. Gráfica del nivel de actividad física de las tres clasificaciones.

En la figura 21 se presentan los valores de longitud de zancada izquierda de los participantes del estudio. Se obtuvo un promedio ($1.15 \pm .120$) en metros, un valor máximo de 1.28 y un mínimo de .95. Los participantes del grupo saludable mostraron una longitud de zancada izquierda mayor en comparación a los participantes de las otras dos clasificaciones. Los participantes en obesidad obtuvieron valores ligeramente más elevados que los participantes en clasificación sobrepeso.

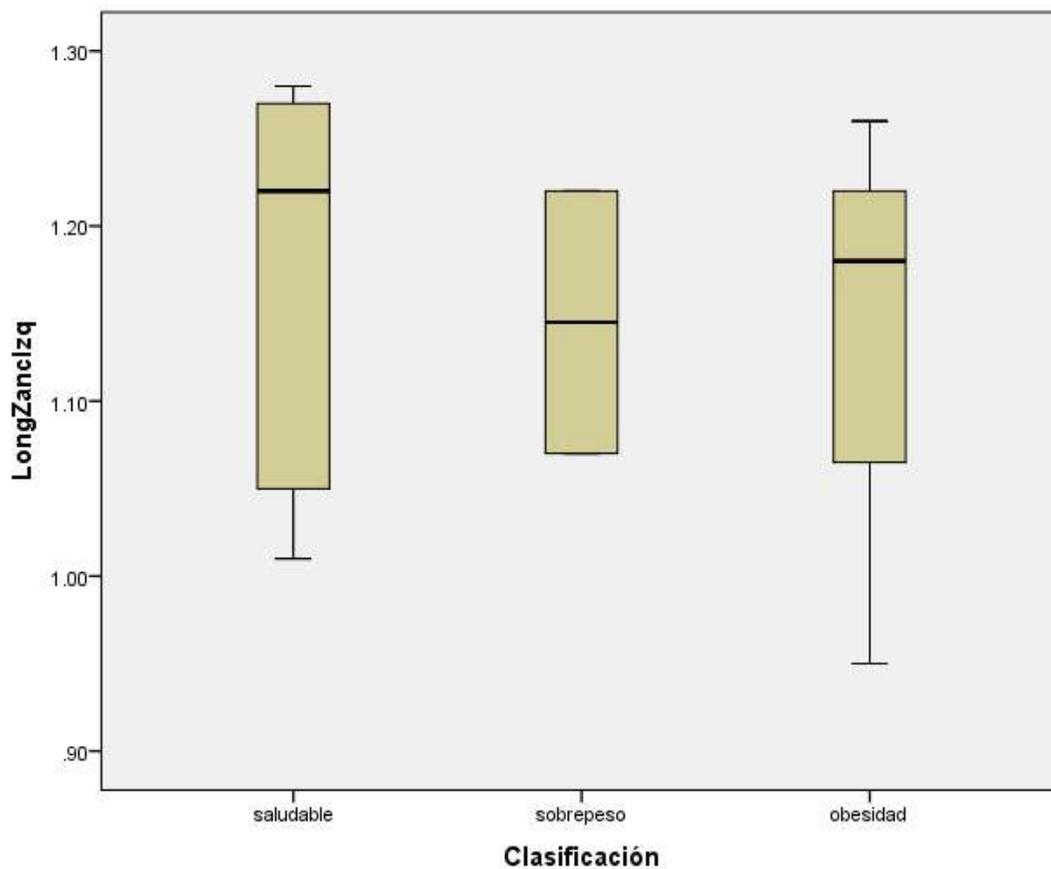


Figura 21. Gráfica de longitud de zancada izquierda en las tres clasificaciones.

En la figura 22 se presenta la longitud de zancada derecha de los participantes. Los valores más elevados fueron para los niños en clasificación saludable, después para los participantes en obesidad, mientras que los participantes en sobrepeso mostraron una menor longitud de zancada.

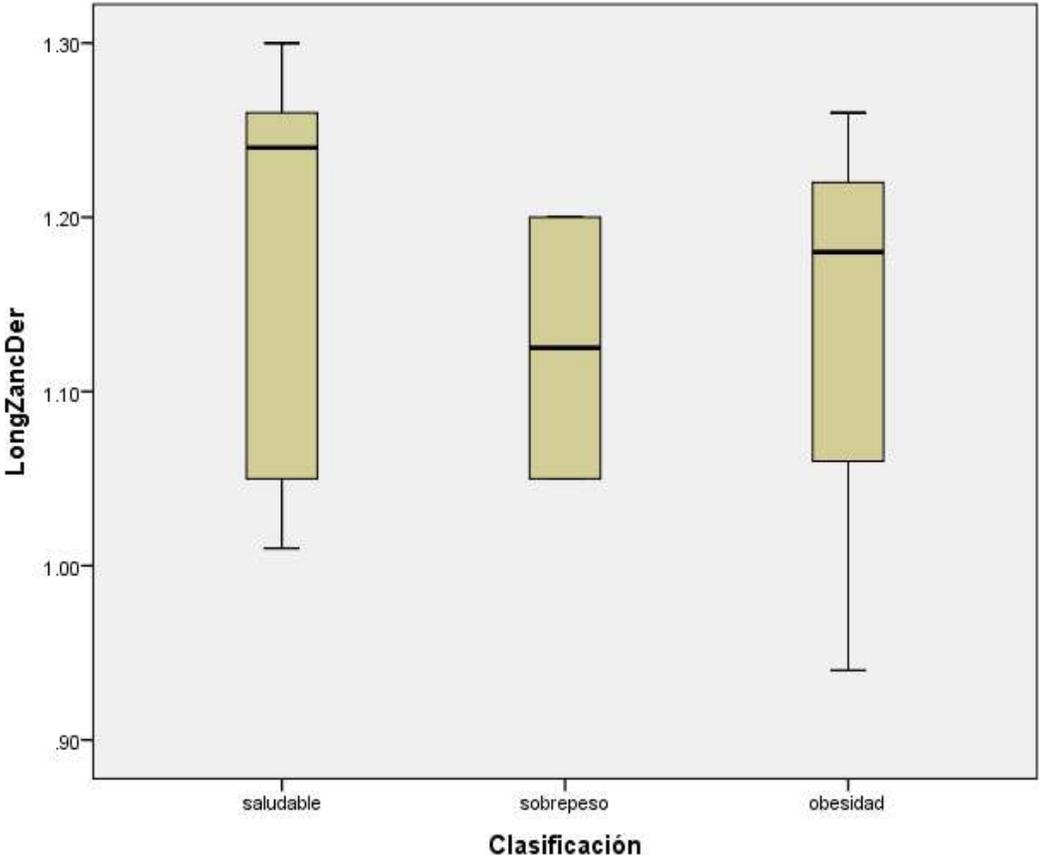


Figura 22. Longitud de zancada derecha en las tres clasificaciones.

En la figura 23 se muestra la velocidad de los participantes en sus tres clasificaciones. Se observa que los participantes en las clasificaciones sobrepeso y obesidad obtuvieron una mayor velocidad en comparación con los participantes en clasificación saludable. Se obtuvo un promedio de la velocidad ($1.08 \pm .06$) en m/s, un valor máximo de 1.20 y un valor mínimo de 1.01.

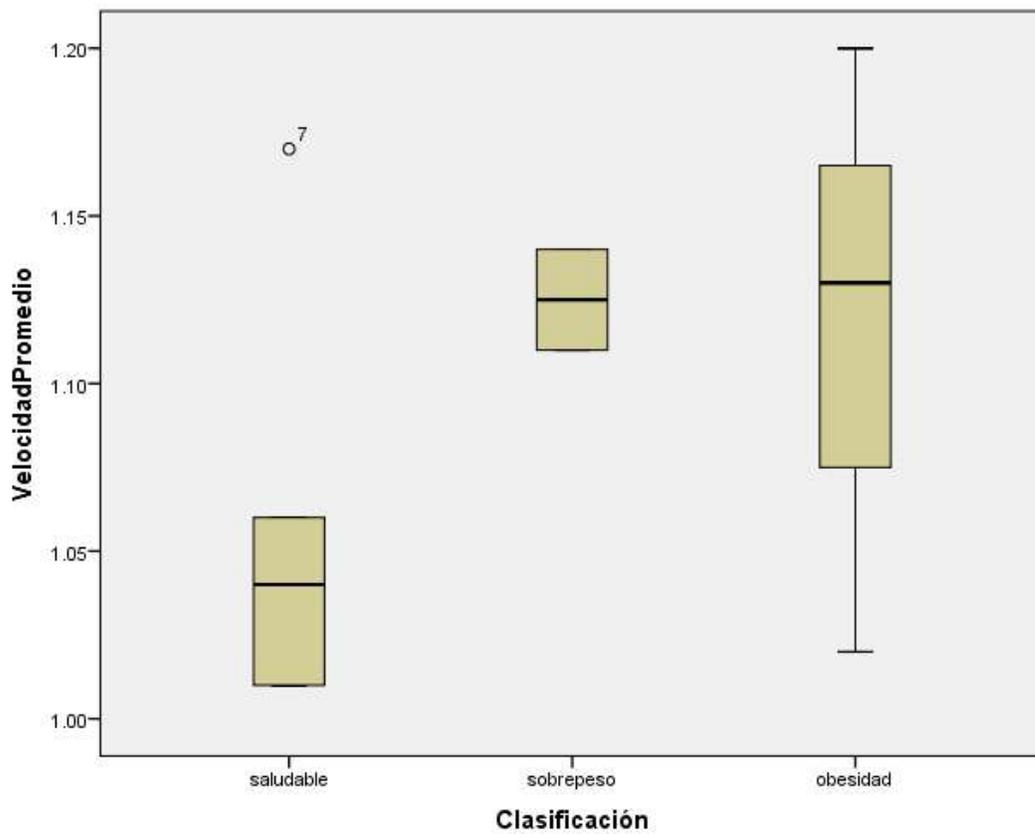


Figura 23. Gráfica de la velocidad promedio en las tres clasificaciones.

En la figura 24 se presenta la cadencia de pasos. Se obtuvo un promedio de la cadencia (114.62 ± 10.14) en pasos por minuto, un valor máximo de 130.04 y un valor mínimo de 100.04. Los participantes en clasificación sobrepeso mostraron una cadencia de pasos mayor en comparación con las otras dos clasificaciones. Los participantes de la clasificación saludable presentaron la menor cadencia de pasos.

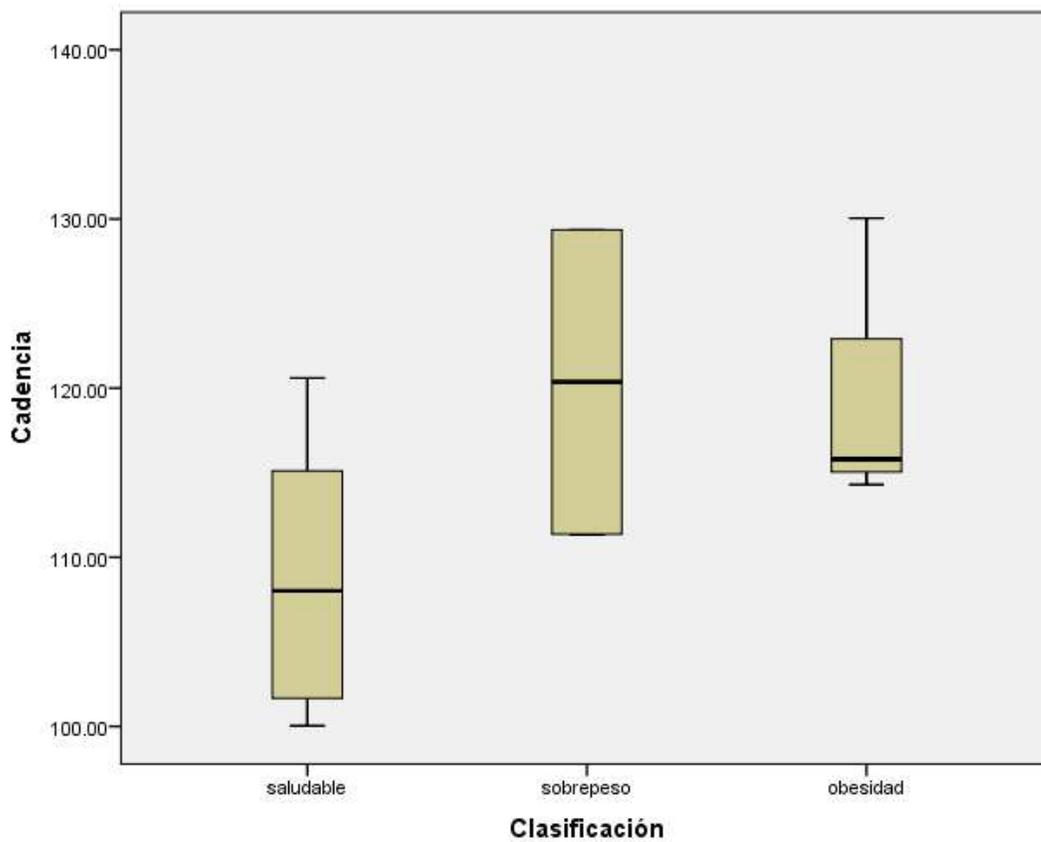


Figura 24. Cadencia de pasos por minuto en las tres clasificaciones.

En la figura 25 se muestra la longitud de paso de los participantes en cada una de sus clasificaciones. Se obtuvo un promedio (574.18 ± 60.32) en mm. Los de la clasificación saludable presentaron una mayor longitud de paso, después los participantes en obesidad, mientras que los participantes en sobrepeso obtuvieron los menores valores.

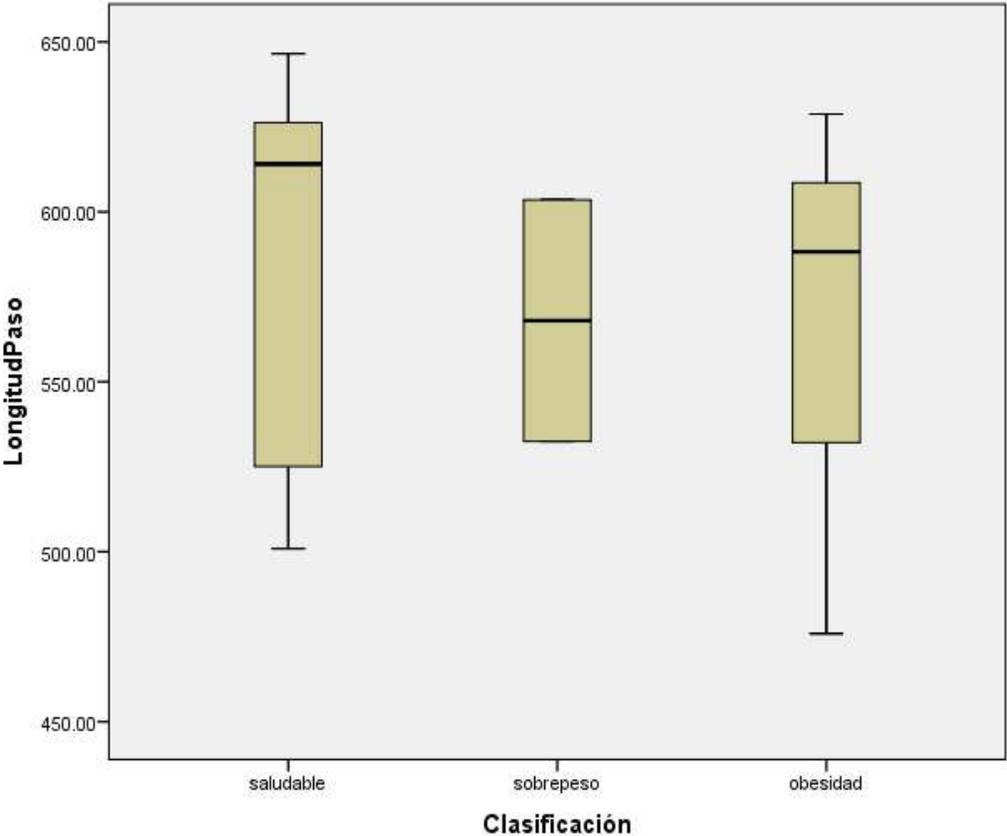


Figura 25. Gráfica de la longitud de paso en mm de las tres clasificaciones.

En la figura 26 se presenta el ángulo de cadera del lado izquierdo en la fase de oscilación de los participantes en sus tres clasificaciones. Se obtuvo un promedio (33.64 ± 6.91) en grados. Los participantes en clasificación sobrepeso obtuvieron mayor ángulo de cadera, después los participantes en obesidad, mostrando mínimas diferencias con los de la clasificación saludable.

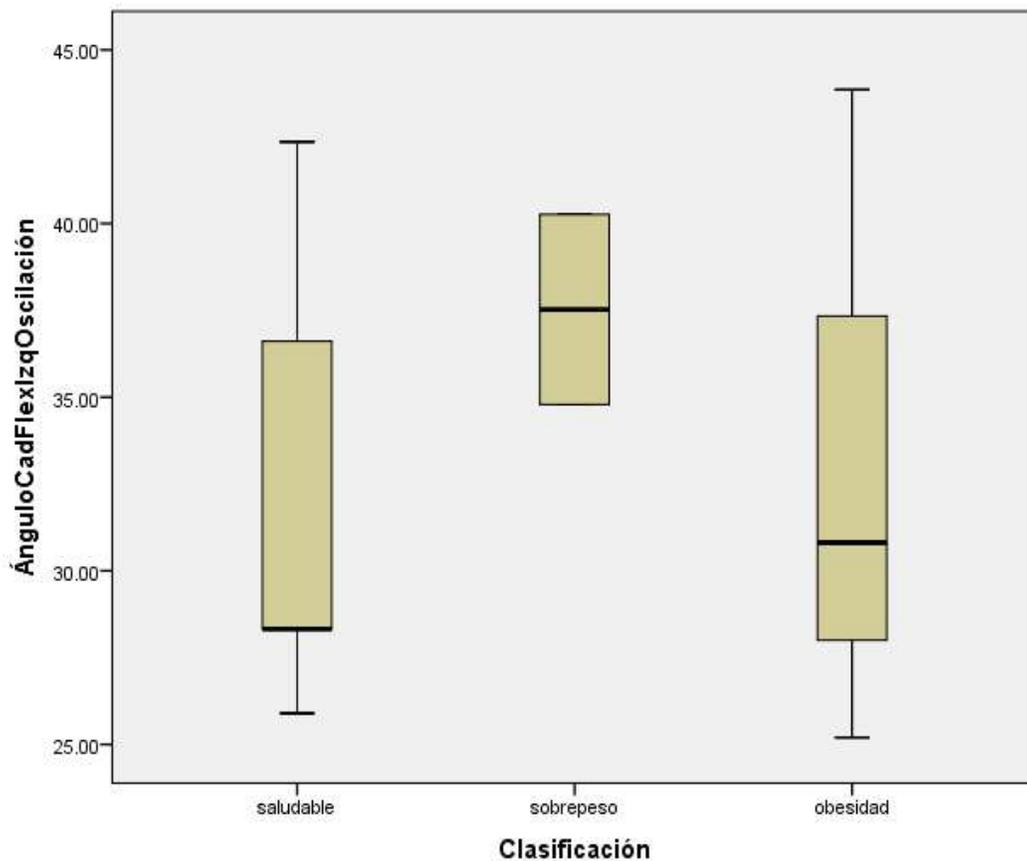


Figura 26. Gráfica del ángulo de cadera del lado derecho en el periodo de oscilación.

En la figura 27 se muestra el ángulo de cadera en extensión del lado izquierdo dentro de la fase de apoyo. A pesar de que las diferencias entre los participantes de las tres clasificaciones fueron reducidas, se observa que los participantes en sobrepeso presentaron un mayor ángulo de cadera, después los de obesidad y finalmente los de clasificación saludable.

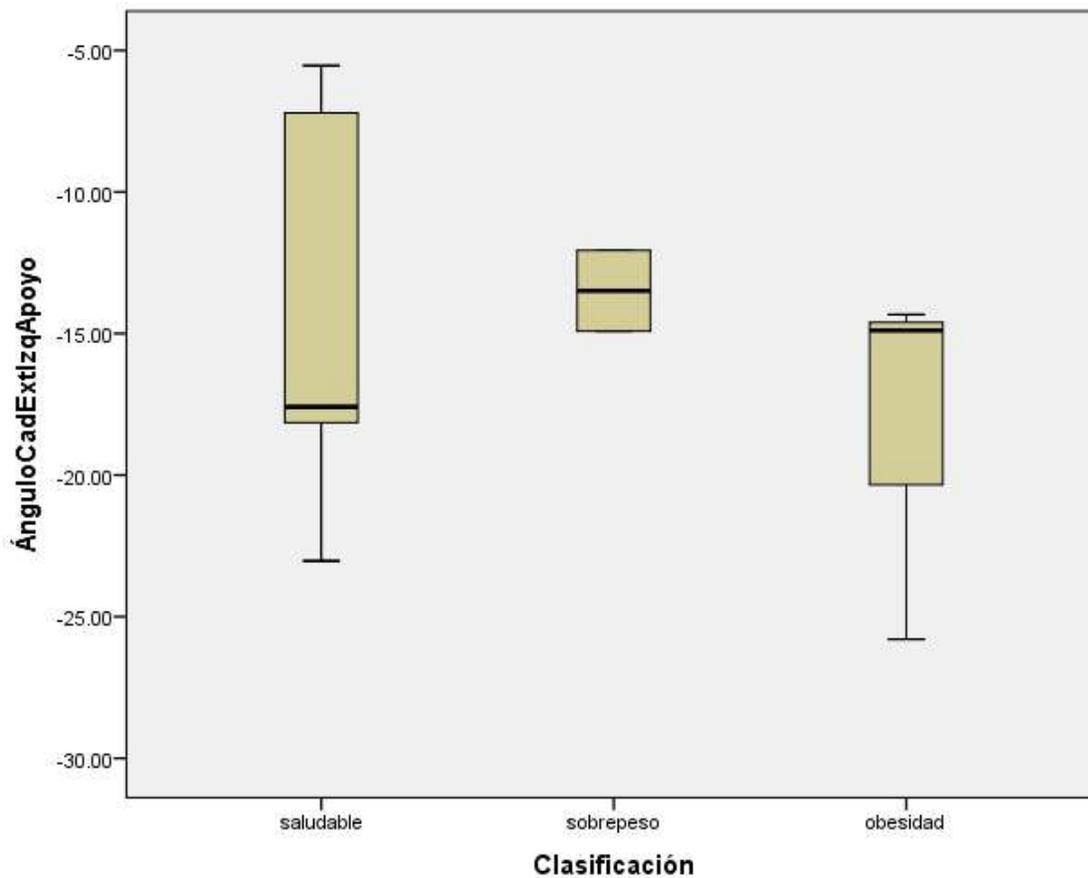


Figura 27. Gráfica del ángulo de cadera izquierdo en extensión durante la fase de apoyo.

En la figura 28 se muestra el ángulo de cadera del lado derecho en flexión de los participantes. Se obtuvo un promedio (33.30 ± 5.34) en grados. Los participantes en clasificación saludable presentaron un mayor ángulo de cadera, después los de sobrepeso, siendo los participantes con obesidad los que arrojaron los valores más pequeños.

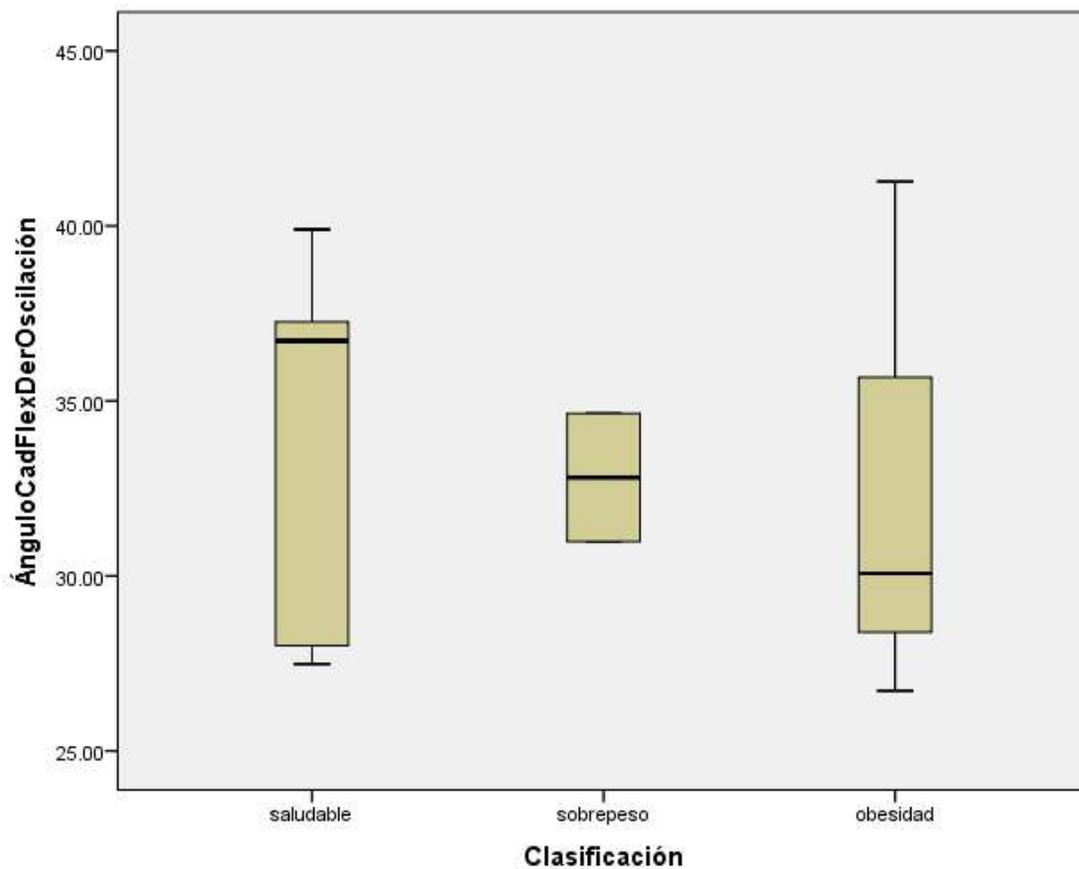


Figura 28. Gráfica del ángulo de cadera del lado derecho en flexión durante la fase de oscilación.

En la figura 29 se presenta el ángulo de cadera del lado derecho en extensión de los participantes en cada una de sus clasificaciones. Los participantes que mostraron mayores valores fueron los de clasificación saludable. Los participantes en clasificación obesidad registraron un menor ángulo en comparación con los participantes con sobrepeso. Se obtuvo un promedio del ángulo de cadera (-12.93 ± 6.84) en grados.

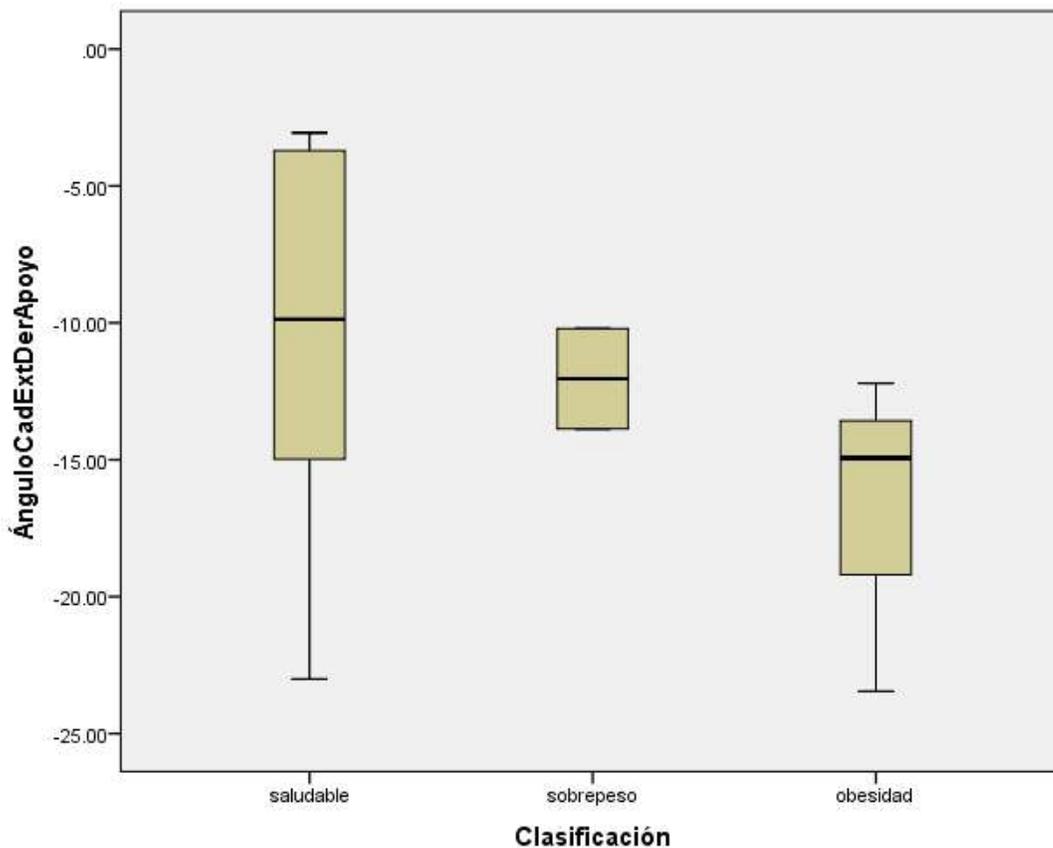


Figura 29. Gráfica del ángulo de cadera del lado derecho en extensión durante la fase de apoyo en las tres clasificaciones.

La figura 30 presenta el ángulo en flexión de rodilla izquierda de los participantes del estudio. Se obtuvo un valor máximo de 63.86 y un mínimo de 43.31. Los participantes de la clasificación obesidad obtuvieron mayor ángulo de rodilla en comparación con las otras dos clasificaciones. Los participantes en clasificación saludable mostraron los valores más pequeños de ángulo de rodilla.

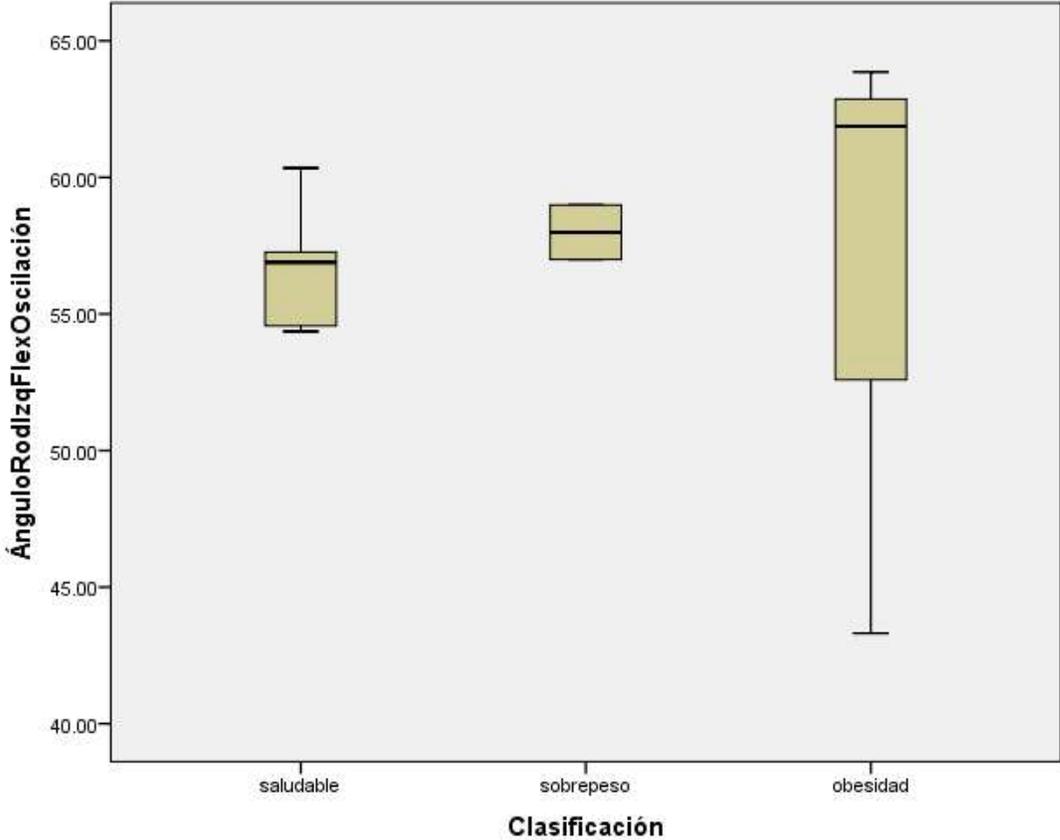


Figura 30. Gráfica del ángulo de rodilla izquierda en flexión durante la fase de oscilación.

En la figura 31 se muestra el rango de los valores del ángulo en extensión de la rodilla izquierda. Se obtuvo un promedio ($.25 \pm 5.63$) en grados. Los participantes en clasificación sobrepeso presentaron mayores valores en comparación con los de obesidad y sobrepeso. Los valores de los participantes en clasificación obesidad fueron más elevados que los de la clasificación saludable.

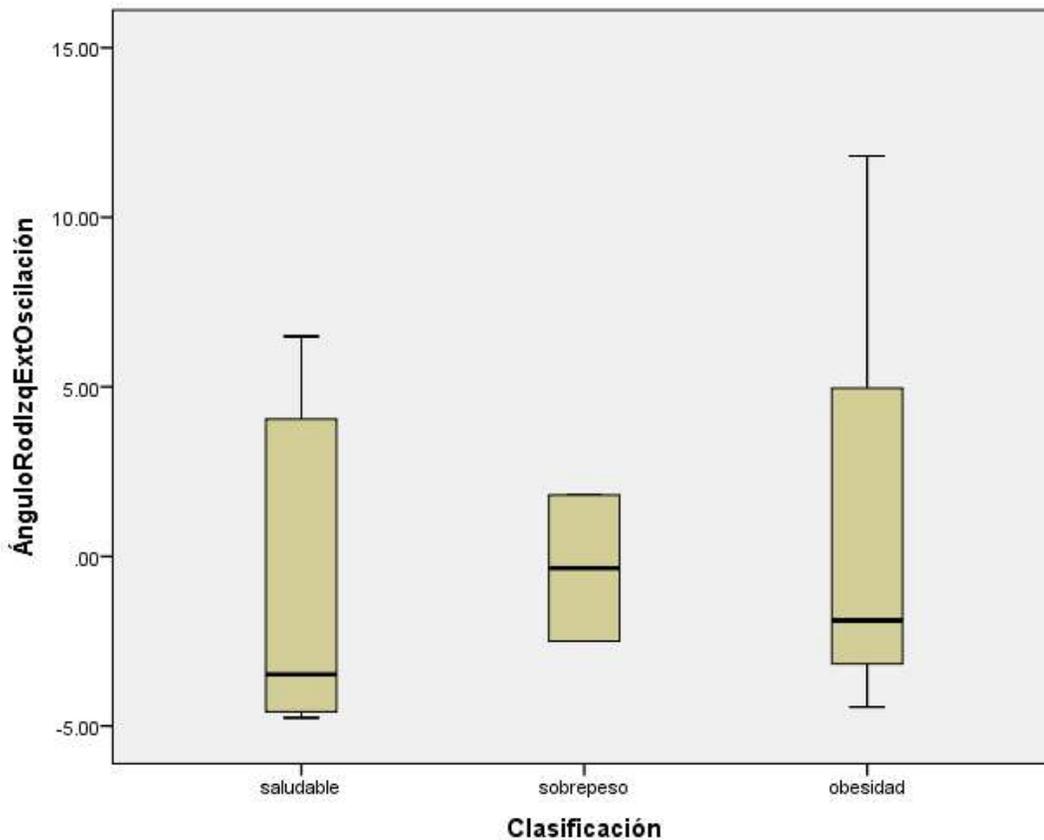


Figura 31. Gráfica del ángulo de rodilla izquierda en extensión durante la fase de oscilación.

En la figura 32 se presentan los valores del ángulo de rodilla izquierda en flexión de las tres clasificaciones. Se obtuvo un valor máximo de 34.38 y un valor mínimo de 3.45. Los participantes en clasificación saludable y sobrepeso mostraron valores muy similares, por arriba de los participantes en clasificación obesidad.

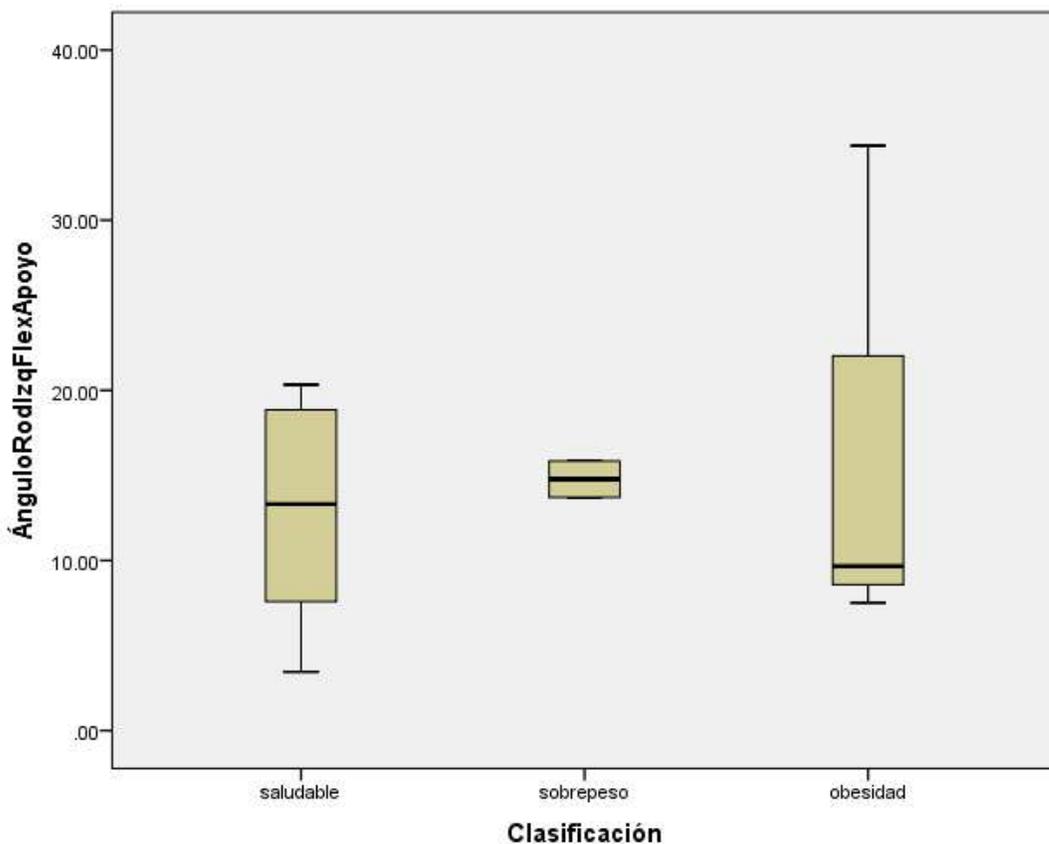


Figura 32. Gráfica del ángulo de rodilla izquierda en flexión durante la fase de apoyo.

En la figura 33 se muestran los valores del ángulo de rodilla izquierda de los participantes. Se obtuvo un valor máximo de 9.19 y uno mínimo de -3.54. Los participantes en clasificación saludable obtuvieron mayor ángulo de rodilla izquierda, después los de la clasificación saludable, mientras que los participantes con obesidad presentaron los valores más pequeños.

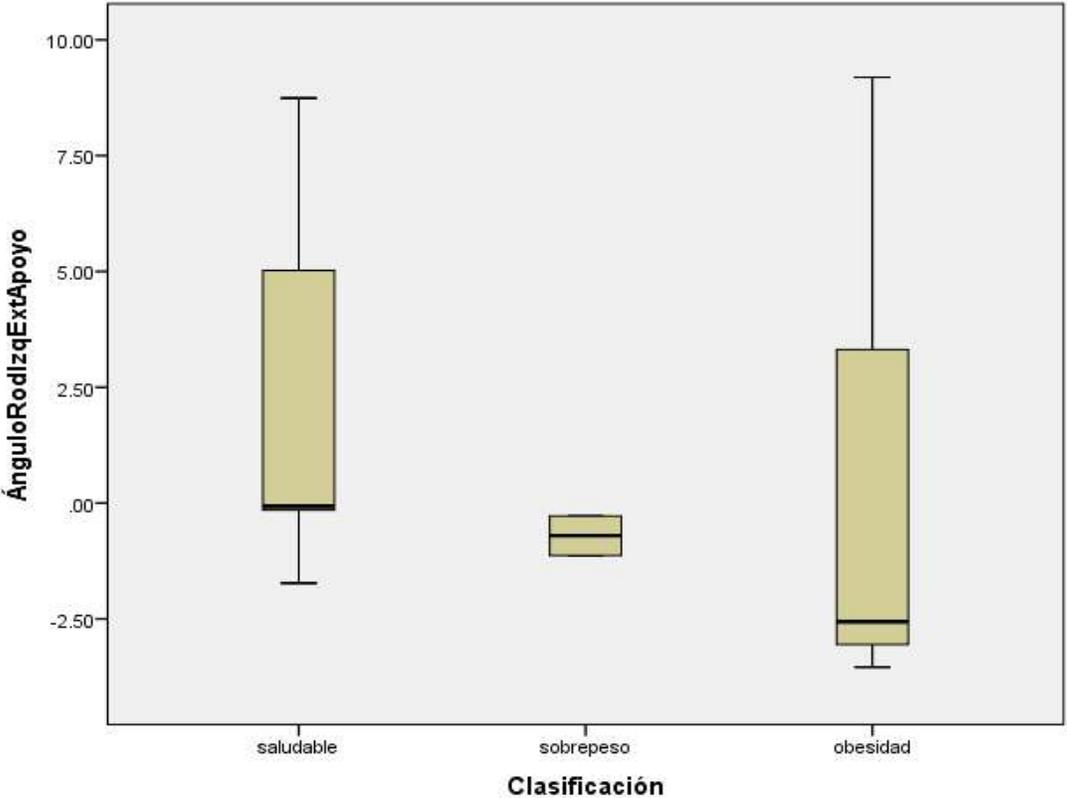


Figura 33. Gráfica del ángulo de rodilla izquierda en extensión durante la fase de apoyo.

En la figura 34 se presentan los valores del ángulo de rodilla derecha de los participantes durante la fase de oscilación. Se obtuvo un promedio (55.39 ± 7.29) en grados. Los participantes en clasificación saludable mostraron valores más elevados, después los participantes con obesidad, mientras que los participantes en clasificación sobrepeso registraron los menores valores del ángulo de rodilla derecha.

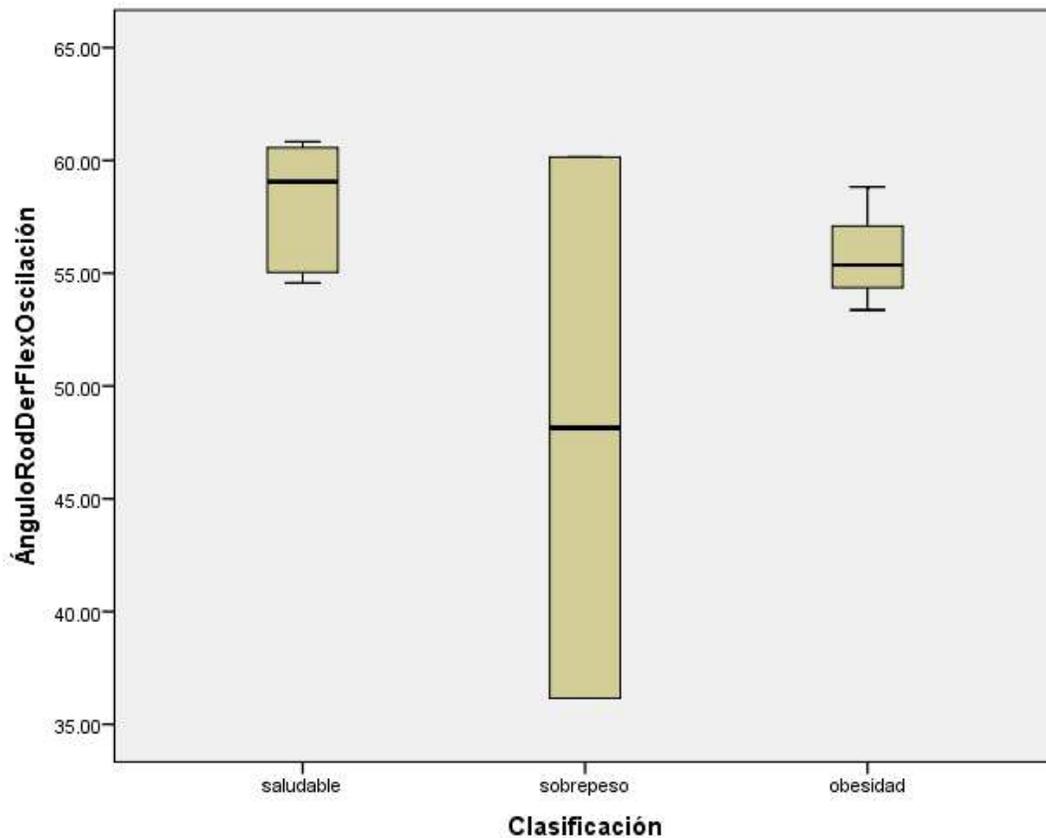


Figura 34. Gráfica del ángulo de rodilla derecha en flexión durante la fase de oscilación.

En la figura 35 se presentan los valores del ángulo de rodilla derecha en extensión en las tres clasificaciones. Los participantes en clasificación saludable mostraron mayores valores, después los de sobrepeso, mientras que los participantes en clasificación obesidad registraron los valores más pequeños de ángulo de rodilla derecha durante la fase de oscilación.

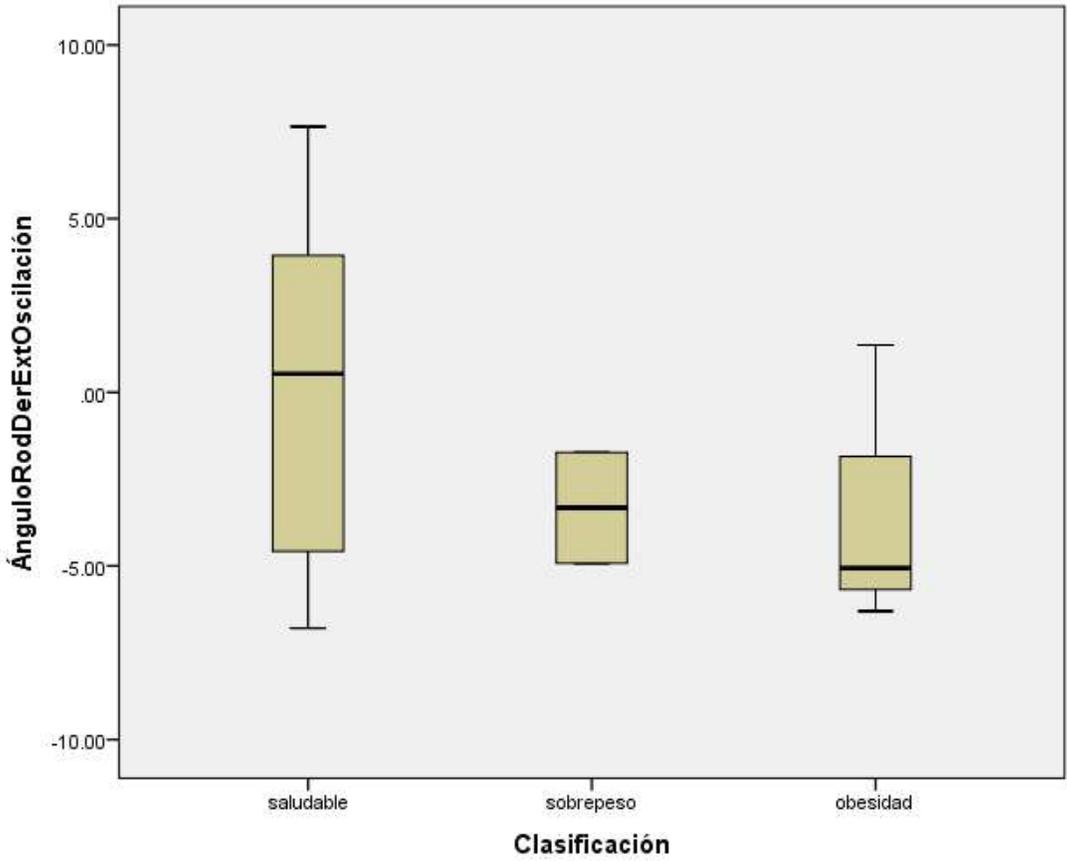


Figura 35. Gráfica del ángulo de rodilla derecha en extensión durante la fase de oscilación.

En la figura 36 se presentan los valores del ángulo de rodilla derecha en flexión de los participantes en las tres clasificaciones. Se obtuvo un valor máximo de 20.48 y un valor mínimo de 4.05. Los participantes en clasificación sobrepeso mostraron mayor ángulo de rodilla derecha, después los participantes en clasificación saludable, siendo los participantes con obesidad los que registraron los valores más pequeños.

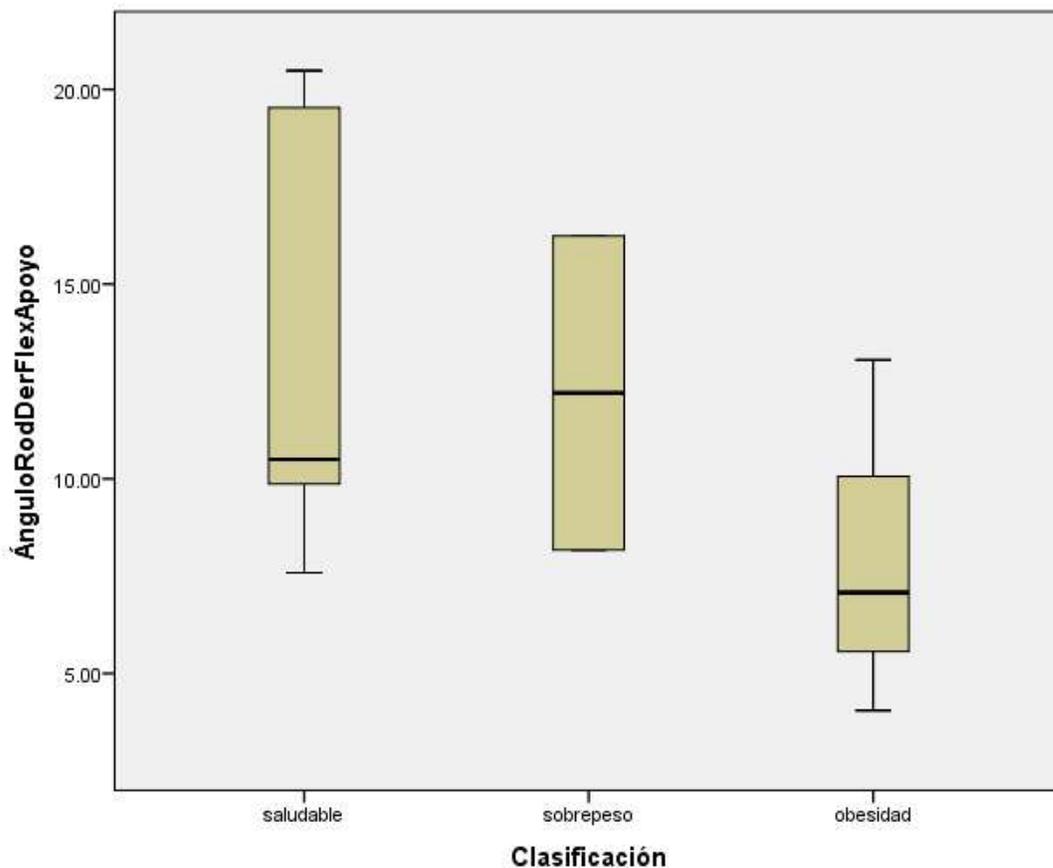


Figura 36. Gráfica del ángulo de rodilla derecha en flexión durante la fase de apoyo.

En la figura 37 se presentan los valores del ángulo de rodilla derecha en extensión. Se obtuvo un promedio (1.73 ± 4.59) en grados. Las diferencias entre las tres clasificaciones fueron mínimas, siendo los participantes en clasificación saludable los que registraron los valores más elevados, después los de sobrepeso, mientras que los participantes en clasificación obesidad mostraron los valores más pequeños.

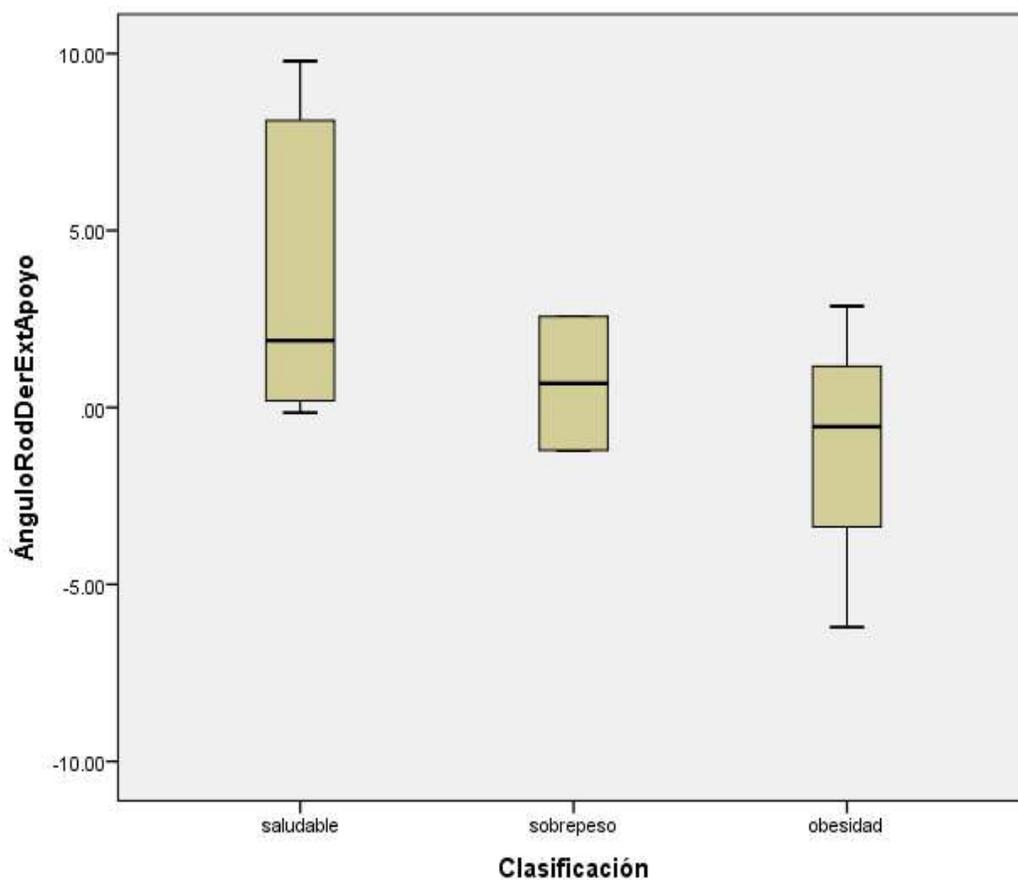


Figura 37. Gráfica de ángulo de rodilla en extensión durante la fase de apoyo.

En la figura 38 se presentan los valores del ángulo de tobillo izquierdo en flexión dorsal. Se obtuvo un valor máximo de 18.94 y un valor mínimo de 11.07. Los participantes en clasificación saludable mostraron mayor ángulo de tobillo izquierdo en comparación con los de clasificación sobrepeso y obesidad. Los participantes en clasificación sobrepeso presentaron los valores más pequeños de ángulo de tobillo izquierdo.

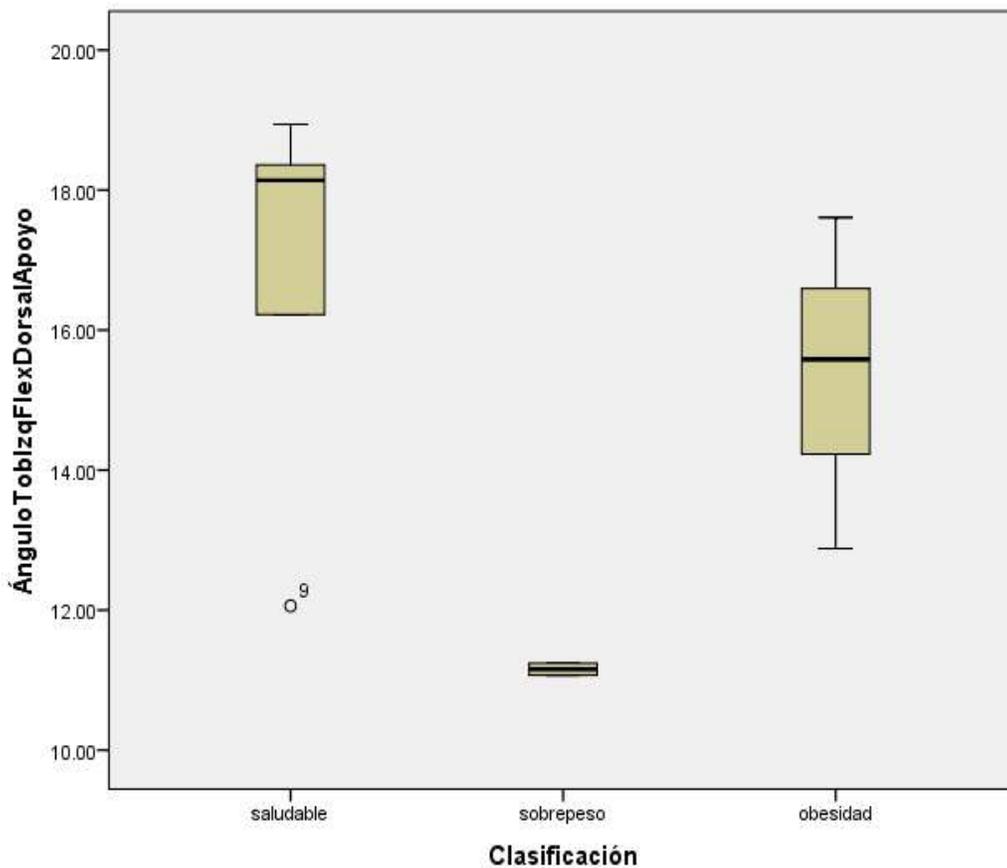


Figura 38. Gráfica de ángulo de tobillo en flexión dorsal durante la fase de apoyo.

En la figura 39 se presentan los valores del ángulo de tobillo izquierdo en flexión plantar. Se obtuvo un promedio de (-14.80 ± 6.53) en grados. Los participantes en clasificación saludable mostraron un ángulo de tobillo izquierdo mayor al de las otras dos clasificaciones. Los valores más pequeños fueron presentados por los participantes con obesidad.

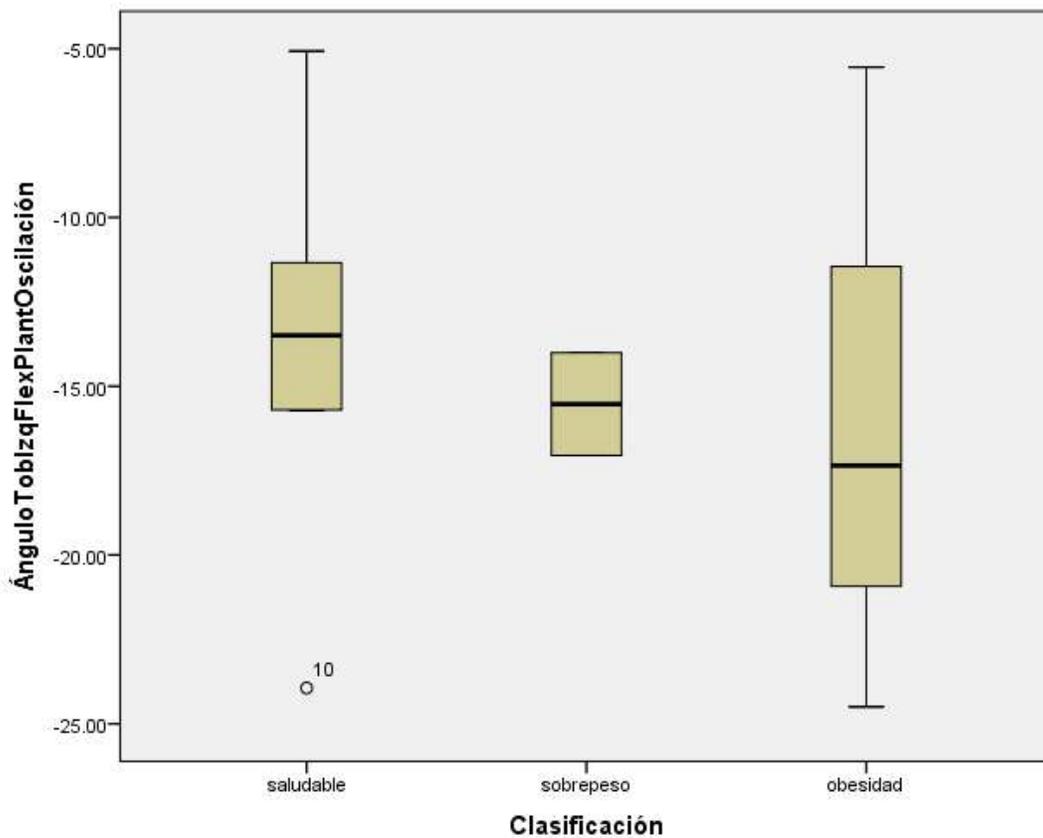


Figura 39. Gráfica de ángulo de tobillo izquierdo en flexión plantar durante la fase de oscilación.

En la figura 40 se presentan los valores del ángulo de tobillo izquierdo en flexión dorsal. Se obtuvo un valor máximo de 11.95 y un mínimo de 5.43. Las tres clasificaciones presentaron valores muy similares, sin embargo, se observa que los de clasificación sobrepeso muestran un mayor ángulo de tobillo izquierdo en flexión dorsal.

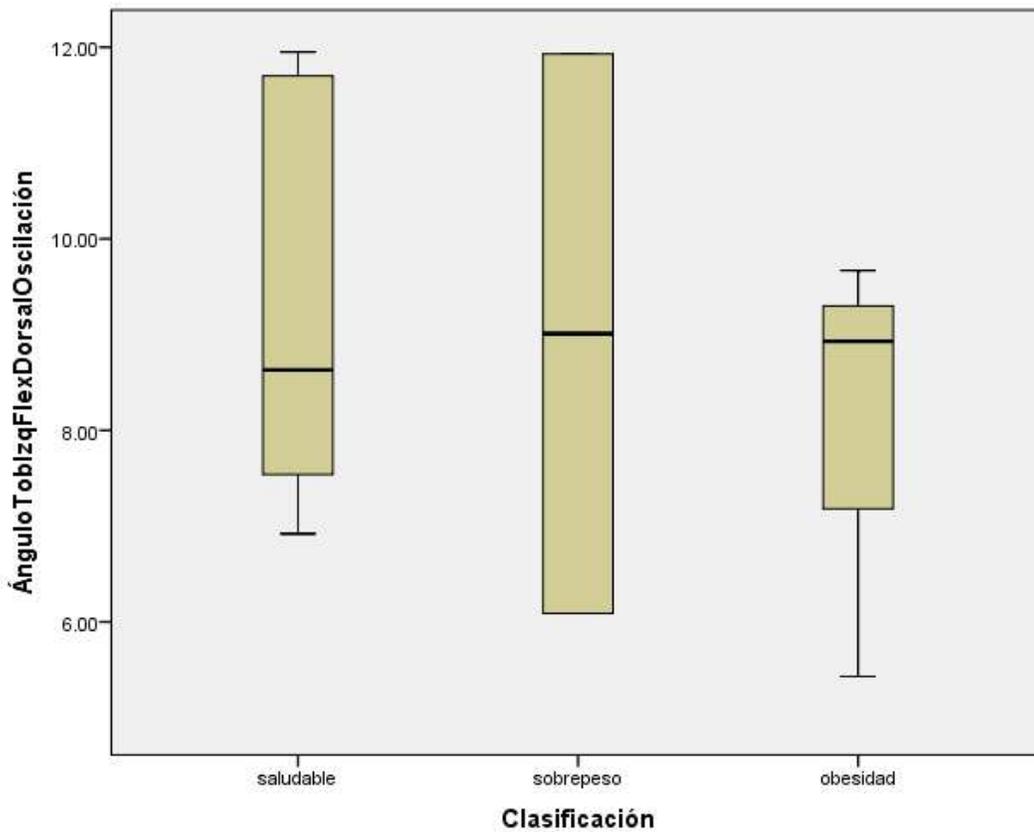


Figura 40. Gráfica de ángulo de tobillo izquierdo en flexión dorsal durante el periodo de oscilación.

En la figura 41 se presenta el ángulo de tobillo izquierdo en flexión plantar. Se obtuvo un promedio (-4.34 ± 4.97) en grados. Los participantes en la clasificación saludable y sobrepeso obtuvieron mínimas diferencias entre sí, quedando ambos por encima de los valores presentados por los participantes con obesidad.

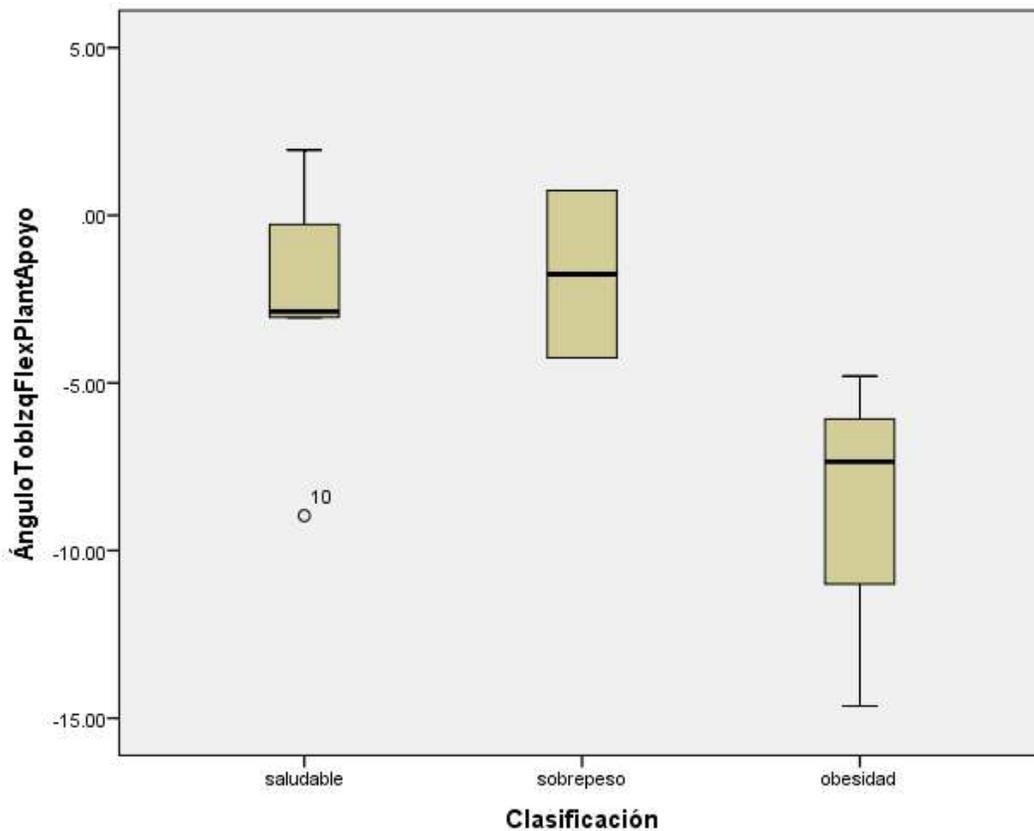


Figura 41. Gráfica del ángulo de tobillo izquierdo en flexión plantar durante la fase de apoyo.

En la figura 42 se presentan los valores del ángulo de tobillo derecho en flexión dorsal de los participantes del estudio. Se obtuvo un valor máximo de 12.44 y un valor mínimo de 30.02. Los participantes que obtuvieron valores más altos fueron los clasificados en sobrepeso. Los niños en clasificación saludable y obesidad mostraron valores más pequeños y una mínima diferencia entre sí.

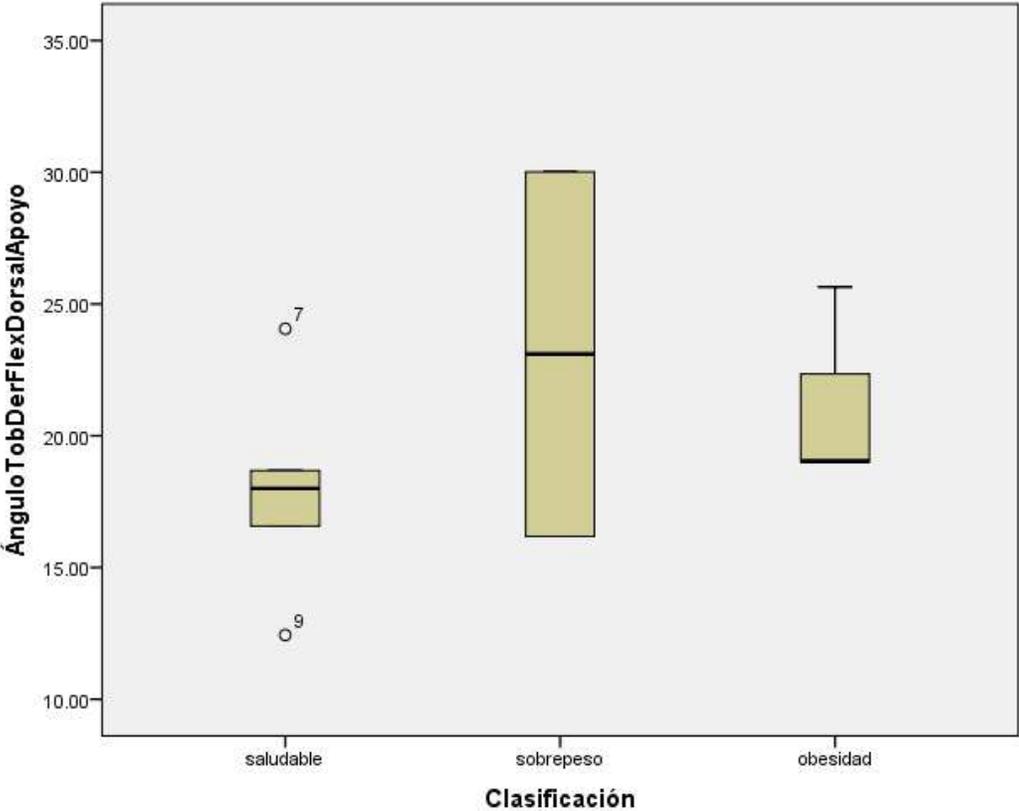


Figura 42. Gráfica de ángulo de tobillo derecho en flexión dorsal durante la fase de apoyo.

En la figura 43 se muestran los valores del ángulo de tobillo derecho en flexión plantar de los participantes. Se obtuvo un promedio (-14.63 ± 7.62) en grados. Los participantes que presentaron mayores valores de ángulo de tobillo derecho fueron los clasificados en saludable, mientras que los participantes en clasificación obesidad mostraron los valores más pequeños.

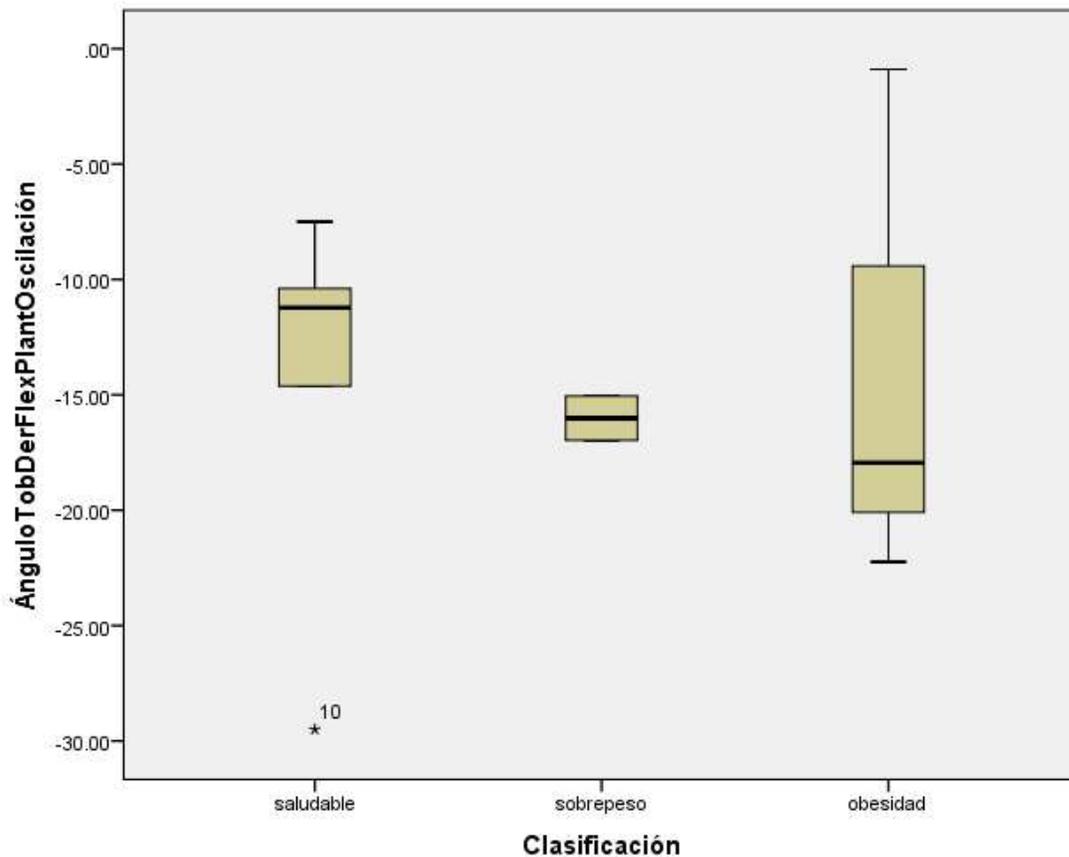


Figura 43. Gráfica de ángulo de tobillo derecho en flexión plantar durante la fase de oscilación.

En la figura 44 se presentan los valores del ángulo de tobillo derecho en flexión dorsal. Se obtuvo un valor máximo de 26.63 y un mínimo de 6.29. Los participantes en clasificación sobrepeso fueron lo que mostraron mayor ángulo de tobillo, mientras que los participantes en clasificación obesidad presentaron valores más pequeños en comparación con de clasificación saludable.

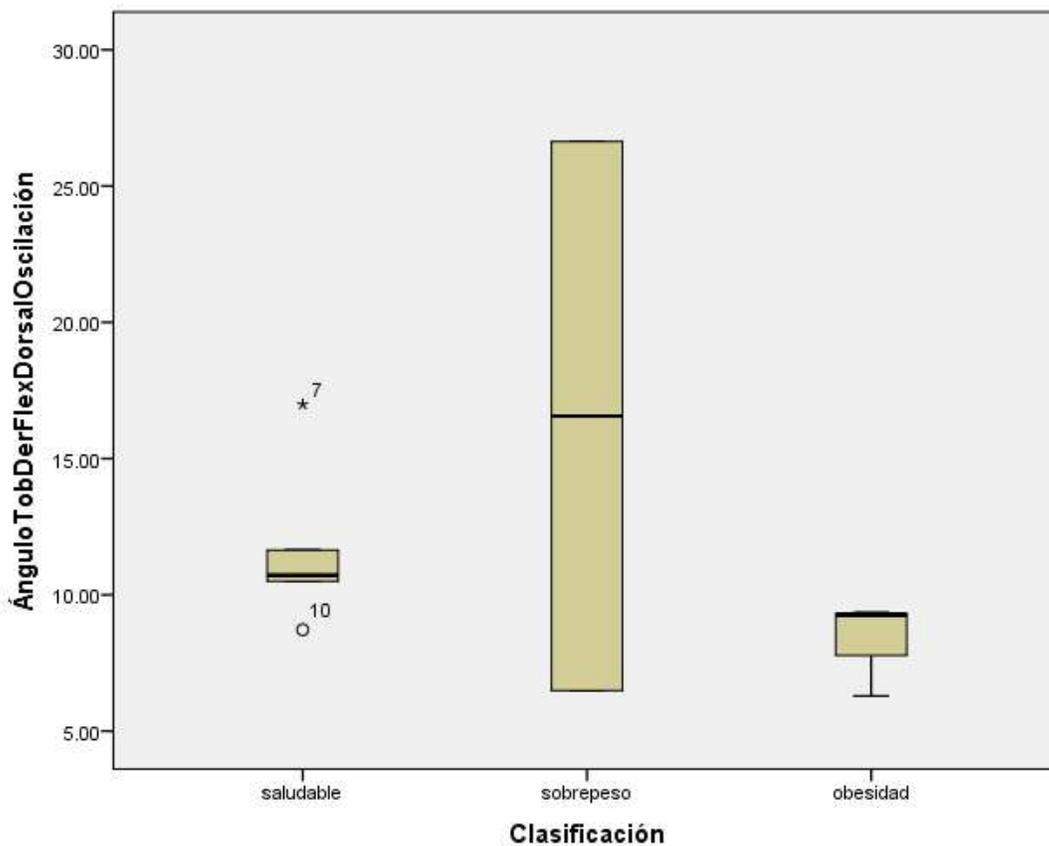


Figura 44. Gráfica de ángulo de tobillo derecho en flexión dorsal durante la fase de oscilación.

En la figura 45 se muestran los valores del ángulo de tobillo derecho en flexión plantar de los participantes. Se obtuvo un valor máximo de 3.54 y un mínimo de -17.01. Los participantes en clasificación saludable presentaron mayor ángulo, mientras que los participantes clasificados en obesidad mostraron los valores más pequeños.

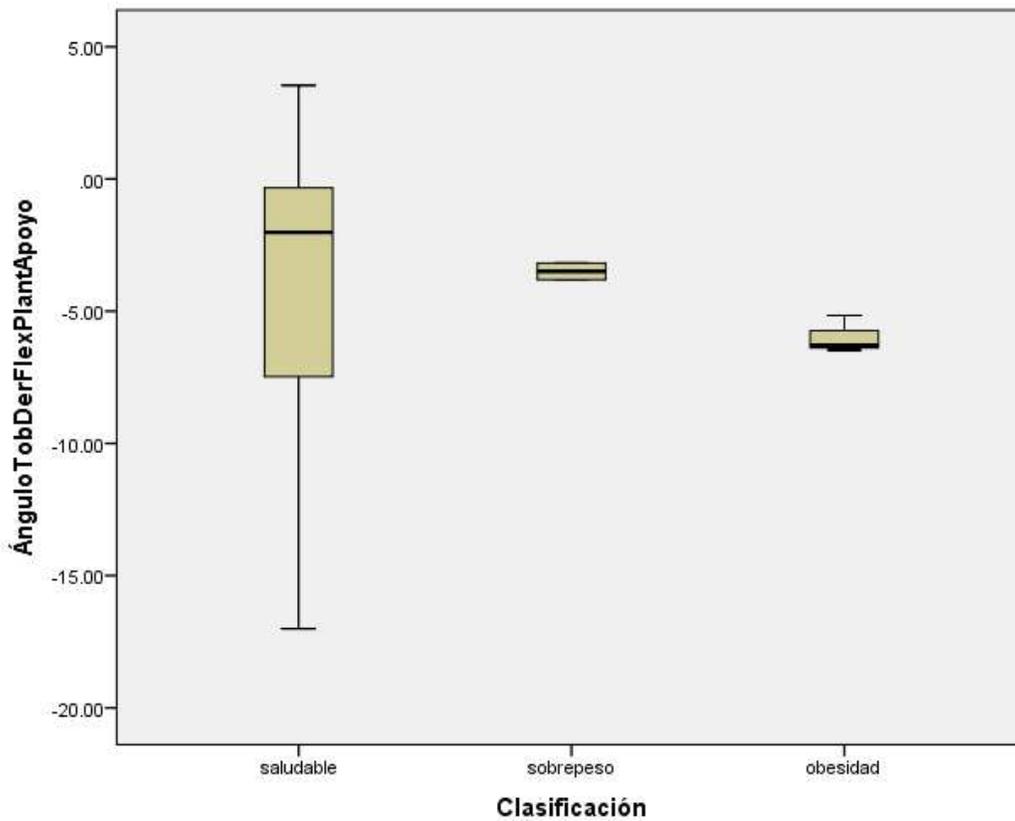


Figura 45. Gráfica de ángulo de tobillo derecho en flexión plantar durante la fase de apoyo.

En la figura 46 se muestra el doble apoyo de los participantes del estudio de las tres clasificaciones. Se obtuvo un promedio ($.1250 \pm .0201$) en segundos. Los de la clasificación saludable presentaron un mayor tiempo de doble apoyo en el eje vertical en comparación con los de clasificación sobrepeso y obesidad.

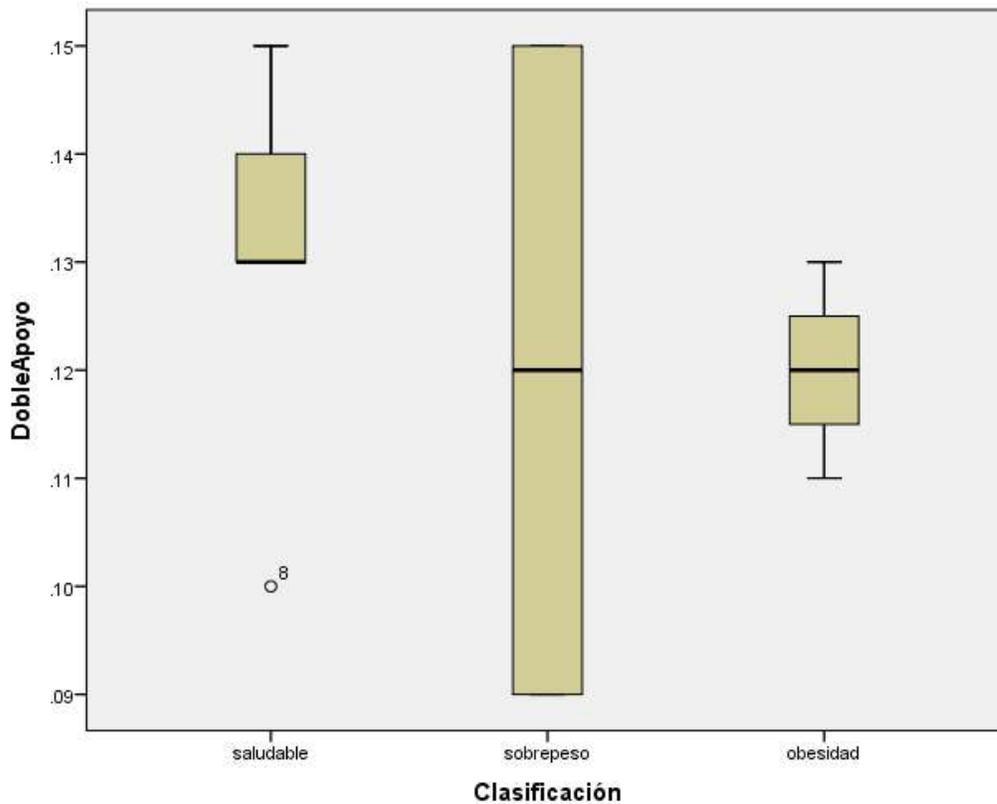


Figura 46. Gráfica de doble apoyo en el eje vertical (Fz).

En la figura 47 se presenta el aterrizaje. Se obtuvo un valor máximo de 1.24 y un valor mínimo de 1.03. Los participantes de la clasificación obesidad muestran los valores más elevados de aterrizaje, los participantes de la clasificación saludable los más pequeños.

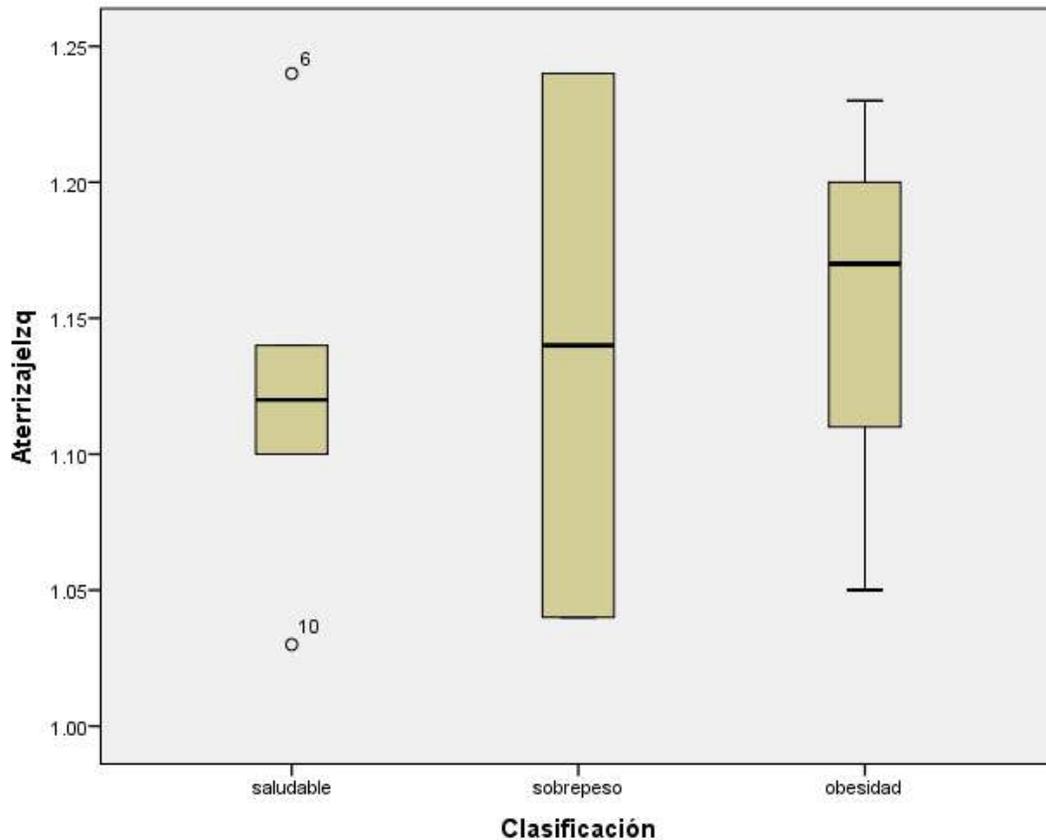


Figura 47. Gráfica de aterrizaje de la pierna izquierda.

En la figura 48 se muestra el aterrizaje de la pierna derecha de los participantes. Se obtuvo un valor máximo de 1.25 y un valor mínimo de .98. A diferencia de la pierna izquierda, quienes presentaron un aterrizaje mayor fueron los participantes en clasificación obesidad, mientras que los participantes en clasificación saludable mantuvieron valores muy similares.

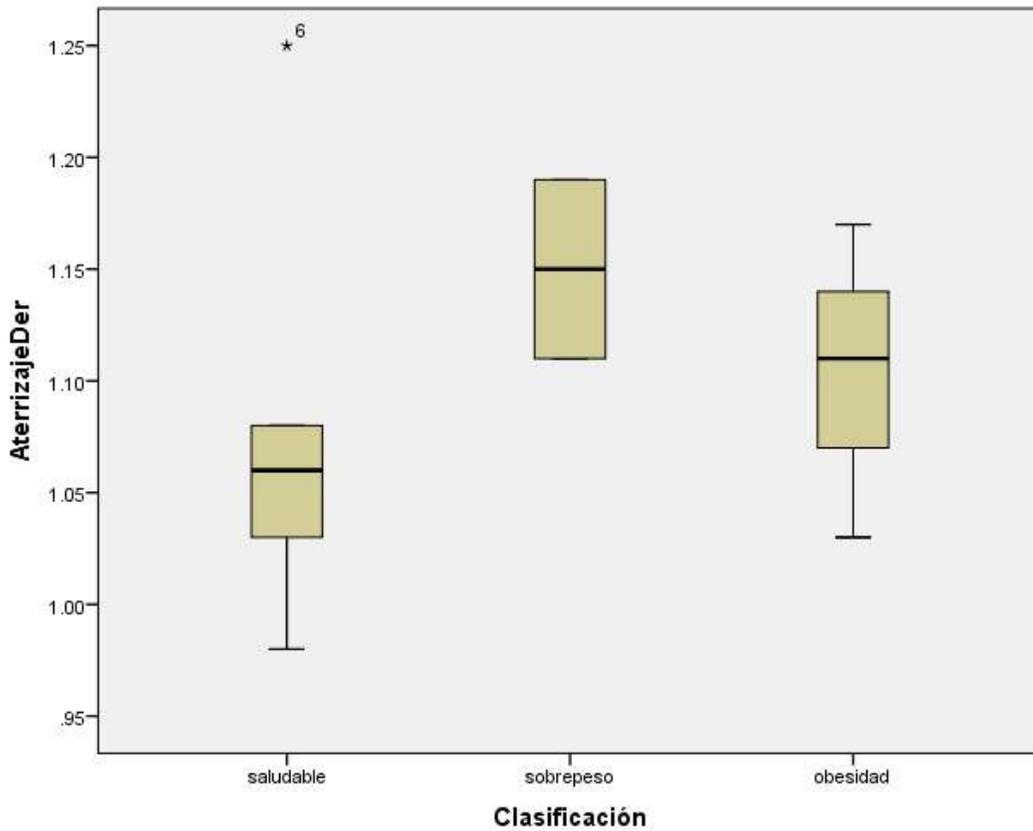


Figura 48. Gráfica de aterrizaje pierna derecha.

En la figura 49 se presenta la gráfica del valle en pierna izquierda de los participantes en sus tres clasificaciones. Se obtuvo un valor máximo de .90 y un valor mínimo de .68. Los participantes en clasificación saludable mostraron mayores valores de valle y los participantes en clasificación sobrepeso presentaron menores valores en comparación con los de obesidad.

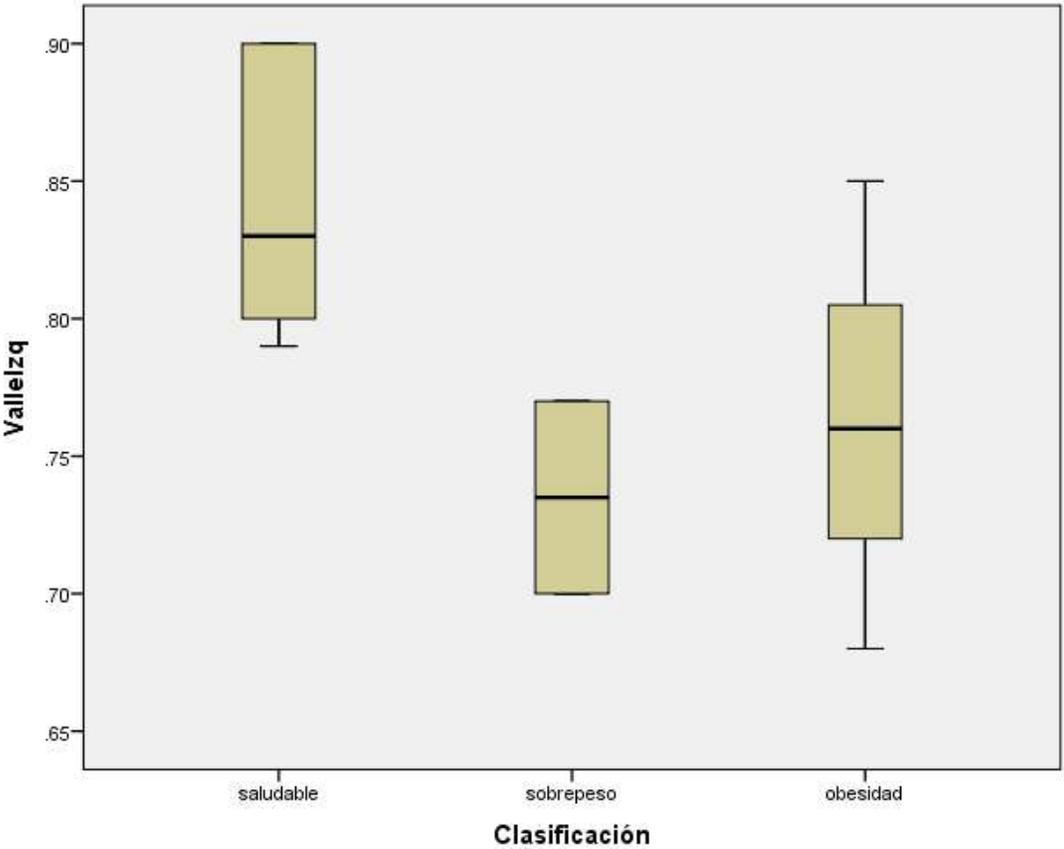


Figura 49. Gráfica del valle en la pierna izquierda sobre el eje vertical (Fz).

En la figura 50 se muestra el valle de la pierna derecha de los participantes del estudio. A diferencia de la pierna izquierda, los participantes en clasificación sobrepeso obtuvieron mayores valores que los participantes en obesidad, mientras que los participantes en clasificación saludable mantuvieron valores similares.

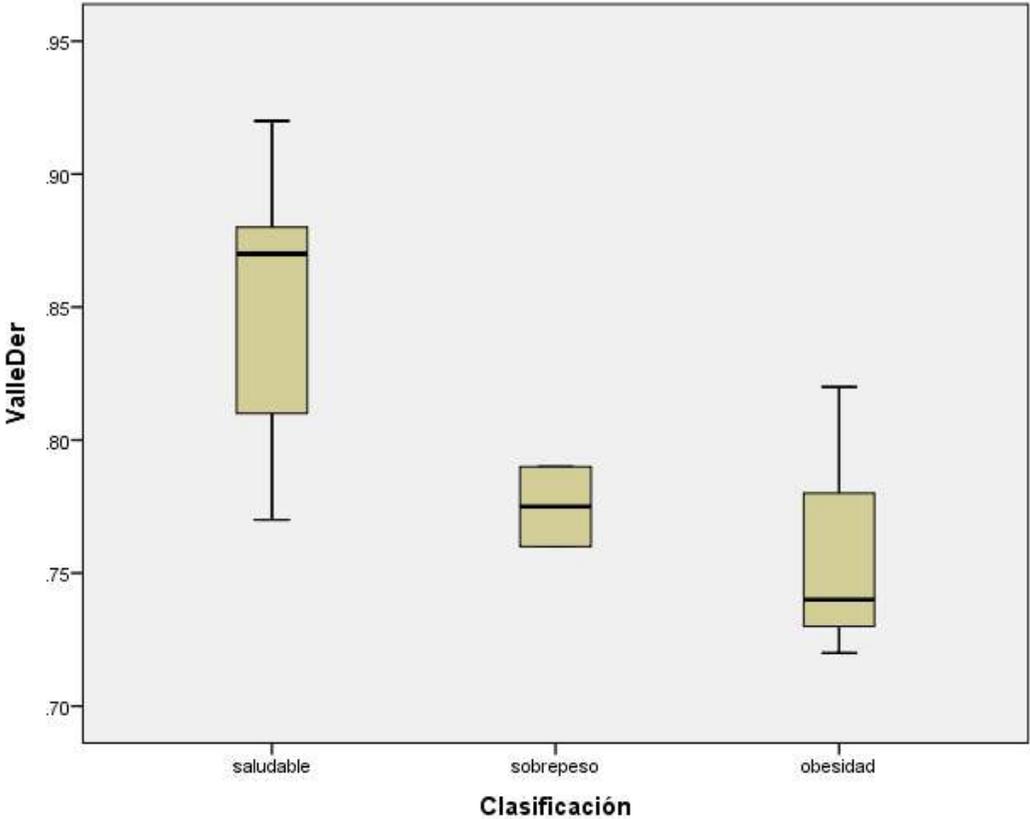


Figura 50. Gráfica del valle de la pierna derecha en el eje vertical (Fz).

En la figura 51 se presenta el impulso vertical de la pierna izquierda de los participantes del estudio en sus tres clasificaciones. Se obtuvo un promedio ($1.0760 \pm .08746$). Se observa que los participantes en clasificación saludable tienen un mayor impulso en comparación con los participantes en sobrepeso y obesidad.

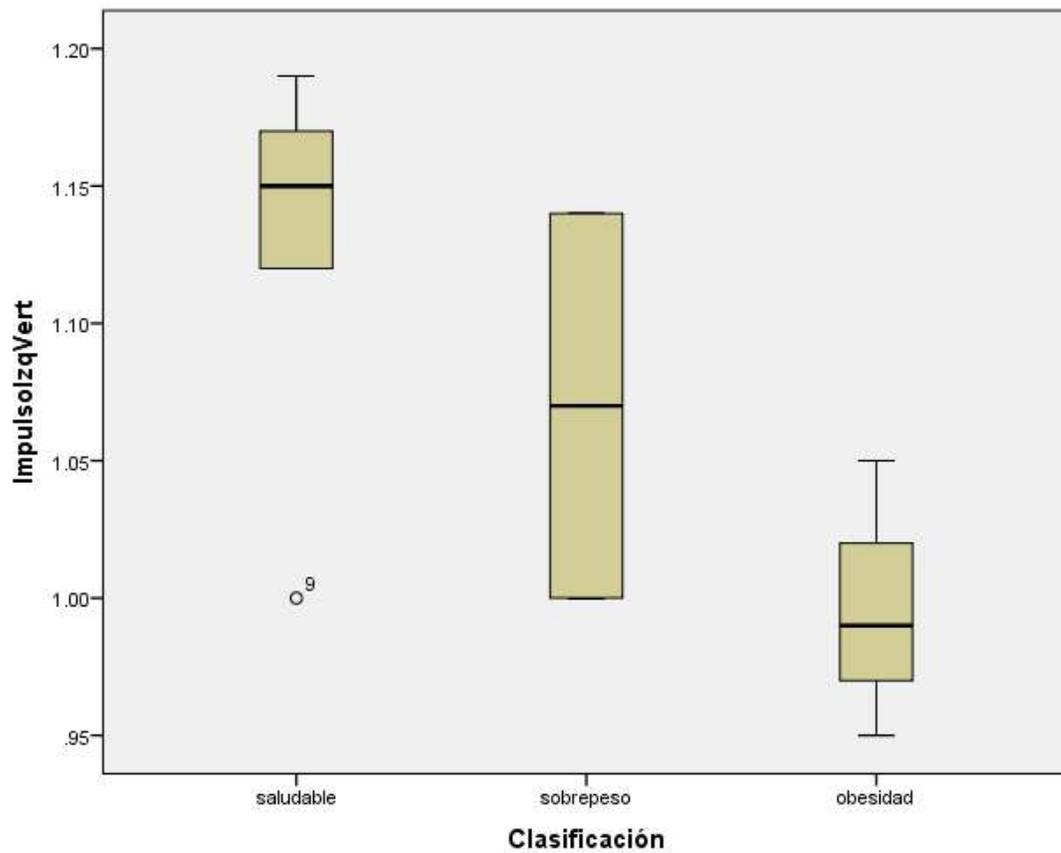


Figura 51. Gráfica del impulso de pierna izquierda en el eje vertical (Fz).

En la figura 52 se muestra el impulso vertical de la pierna derecha. Se obtuvo un promedio (1.0460 ± 0.09252). Se observa que los datos son similares a los de la pierna izquierda, sin embargo, los participantes de las tres clasificaciones presentaron menores valores en el impulso de vertical de la pierna derecha. Los participantes saludables presentaron un mayor impulso vertical comparado con los participantes en sobrepeso y obesidad.

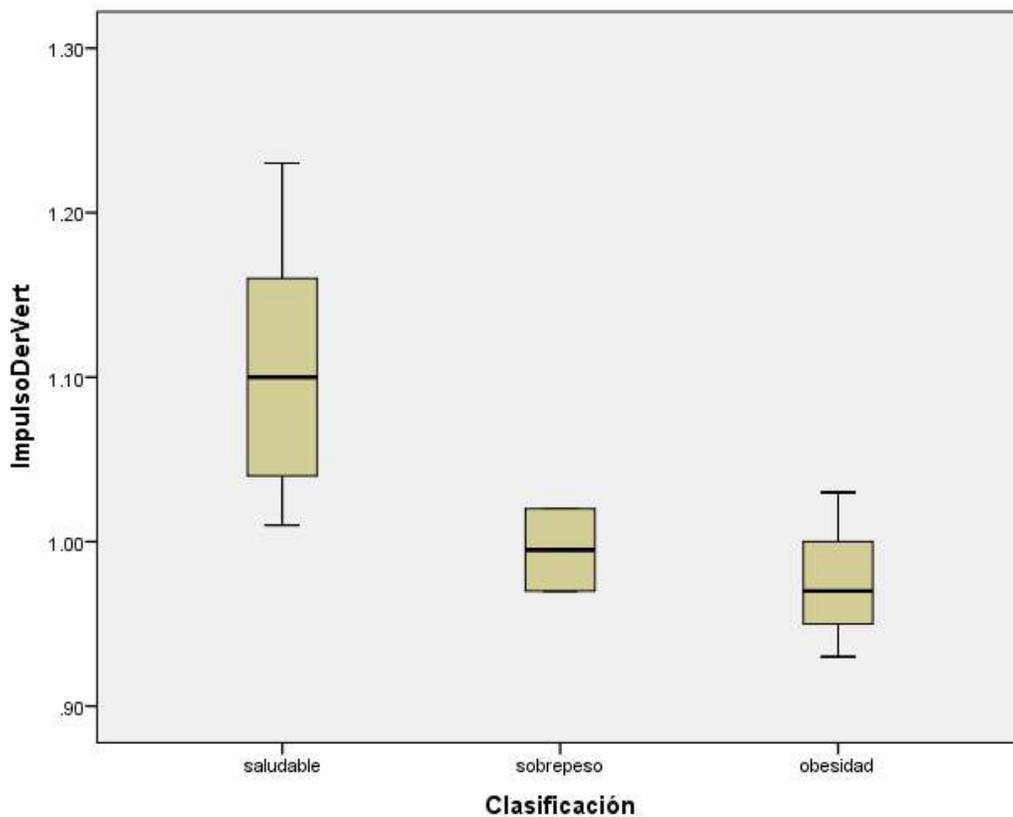


Figura 52. Gráfica del impulso de la pierna derecha en el eje vertical (Fz).

En la figura 53 se presenta el freno de la pierna izquierda de los participantes. Los valores obtenidos en las tres clasificaciones fueron muy similares, sin embargo, puede apreciarse en la figura que los participantes en clasificación saludable obtuvieron valores ligeramente mayores. Se obtuvo un valor máximo de -0.10 y un mínimo de -0.23 .

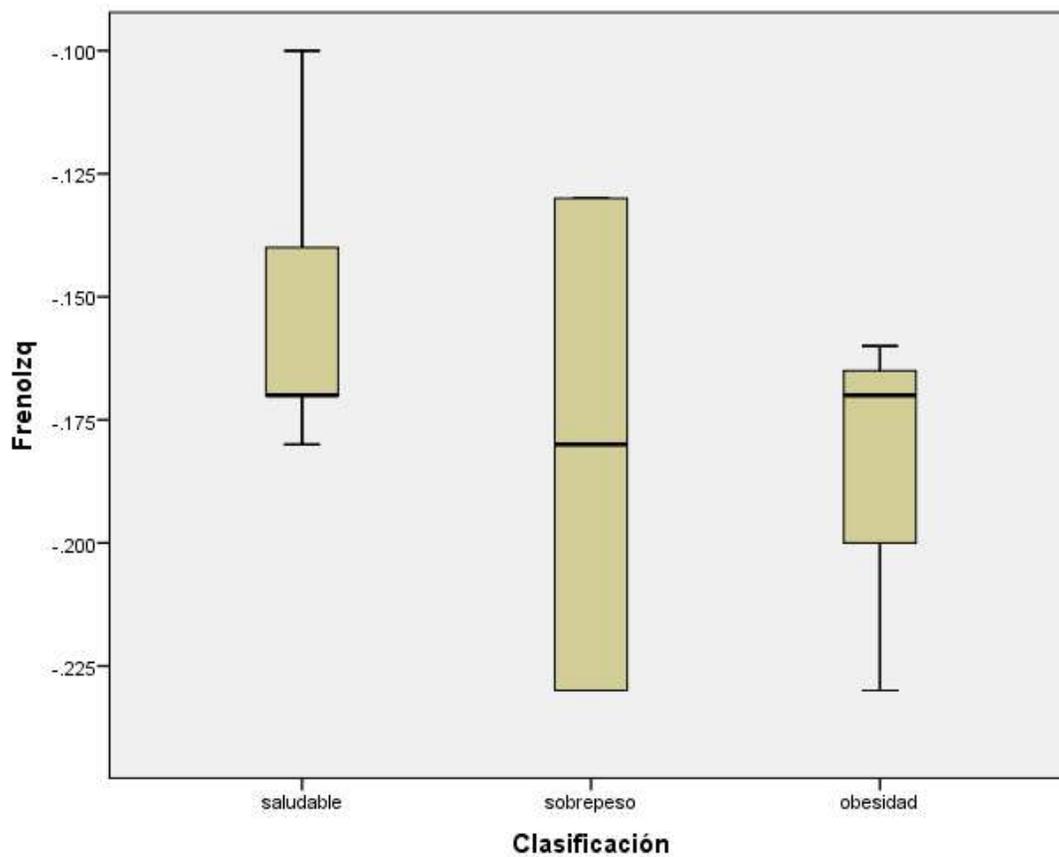


Figura 53. Gráfica del freno de la pierna izquierda en el eje anteroposterior (Fy).

En la figura 54 se presenta el freno de la pierna derecha, a diferencia de la pierna izquierda, los participantes en clasificación sobrepeso mostraron valores mayores que los de obesidad. Se obtuvo un valor máximo de -.12 y un valor mínimo de -.22.

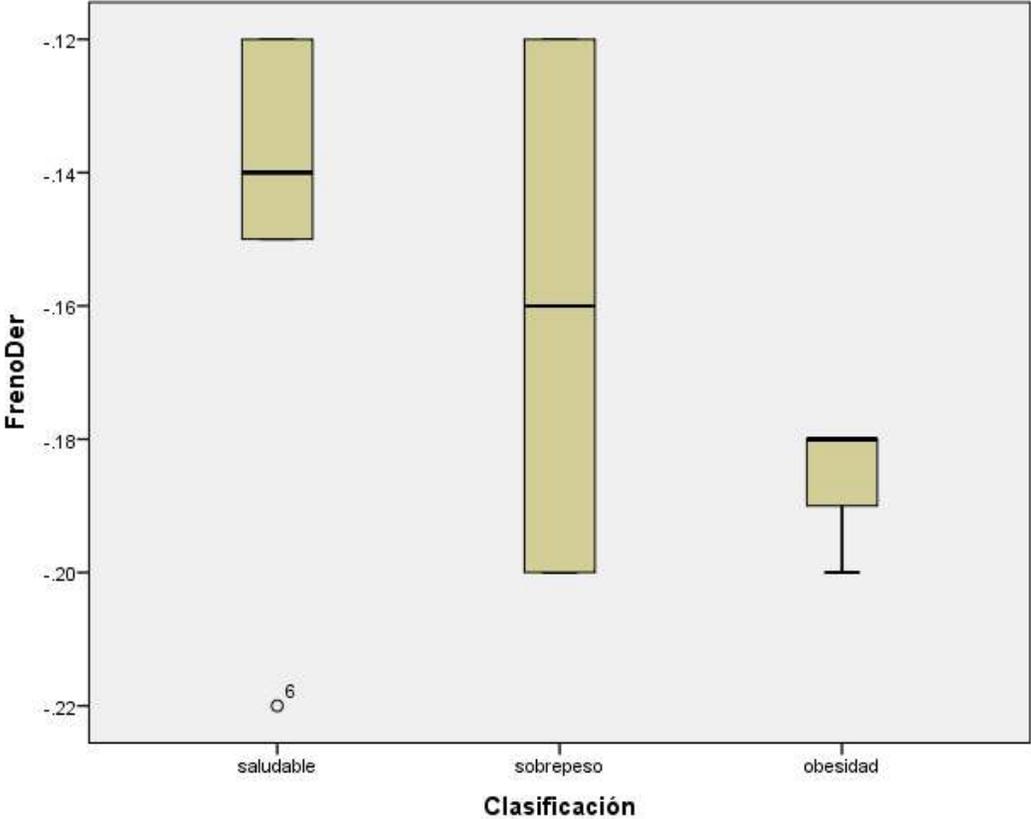


Figura 54. Gráfica del freno en la pierna derecha sobre el eje anteroposterior (Fy).

En la figura 55 se muestra el impulso de la pierna izquierda en el eje anteroposterior de los participantes en sus tres clasificaciones. A diferencia del impulso en el eje vertical, los participantes con obesidad presentan mayores valores que los participantes en clasificación saludable, sin embargo, estos últimos y los participantes con sobrepeso mantuvieron valores similares en ambos parámetros. Se obtuvo un promedio de $(.1800 \pm .02539)$.

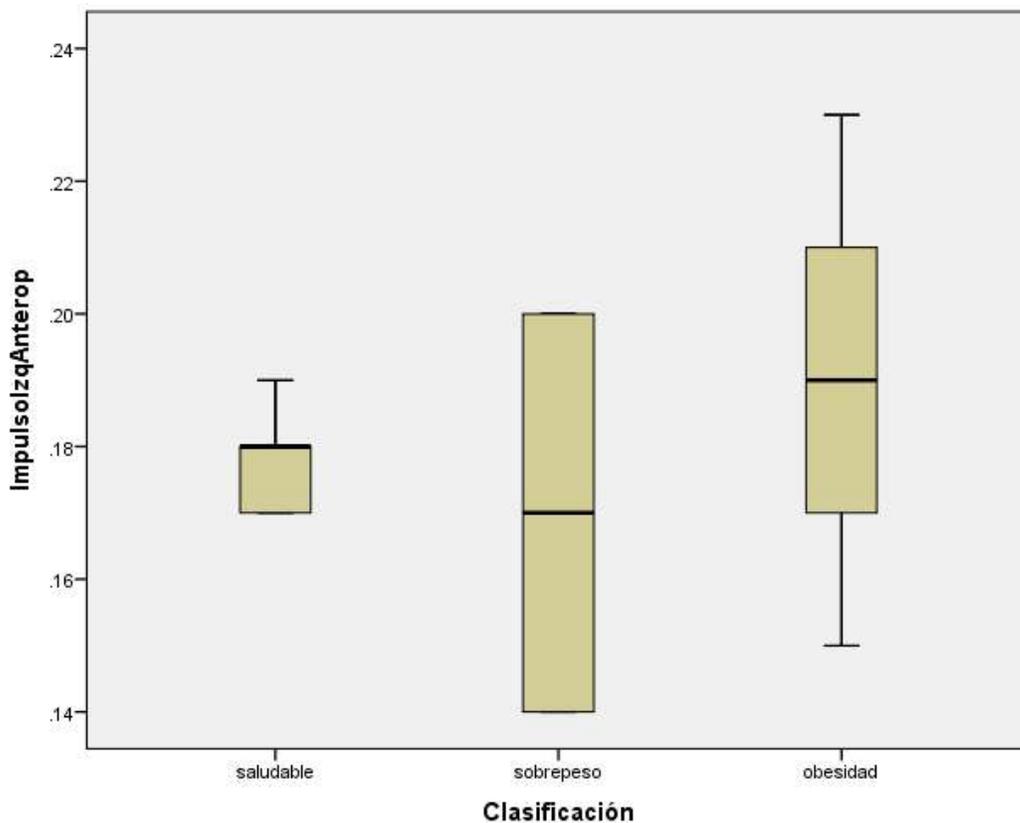


Figura 55. Gráfica del impulso de la pierna izquierda sobre el eje anteroposterior.

En la figura 56 se muestra el impulso de la pierna derecha sobre el eje anteroposterior. Los valores de los participantes en clasificación sobrepeso permanecieron similares a los del impulso con pierna derecha sobre el mismo eje. Los participantes en clasificación saludable y obesidad se mantuvieron dentro del mismo rango de valores; ambos aumentaron ligeramente en comparación con el impulso de la pierna izquierda. Se obtuvo un promedio ($.1870 \pm .02058$).

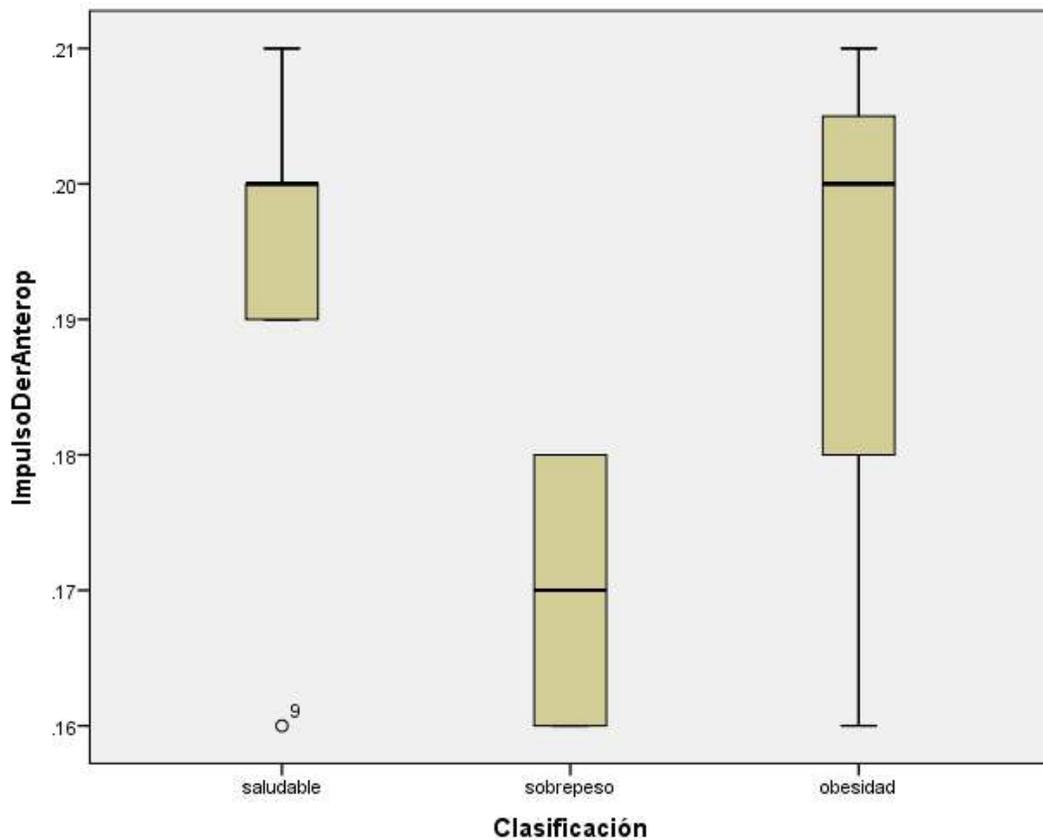


Figura 56. Gráfica del impulso de la pierna derecha sobre el eje anteroposterior (Fy).

En la figura 57 se presenta la supinación del pie izquierdo de los participantes. Se obtuvo un valor máximo de 0.00 y uno mínimo de -.08. Los participantes en clasificación saludable y sobrepeso obtuvieron valores más elevados en comparación con los participantes en clasificación obesidad.

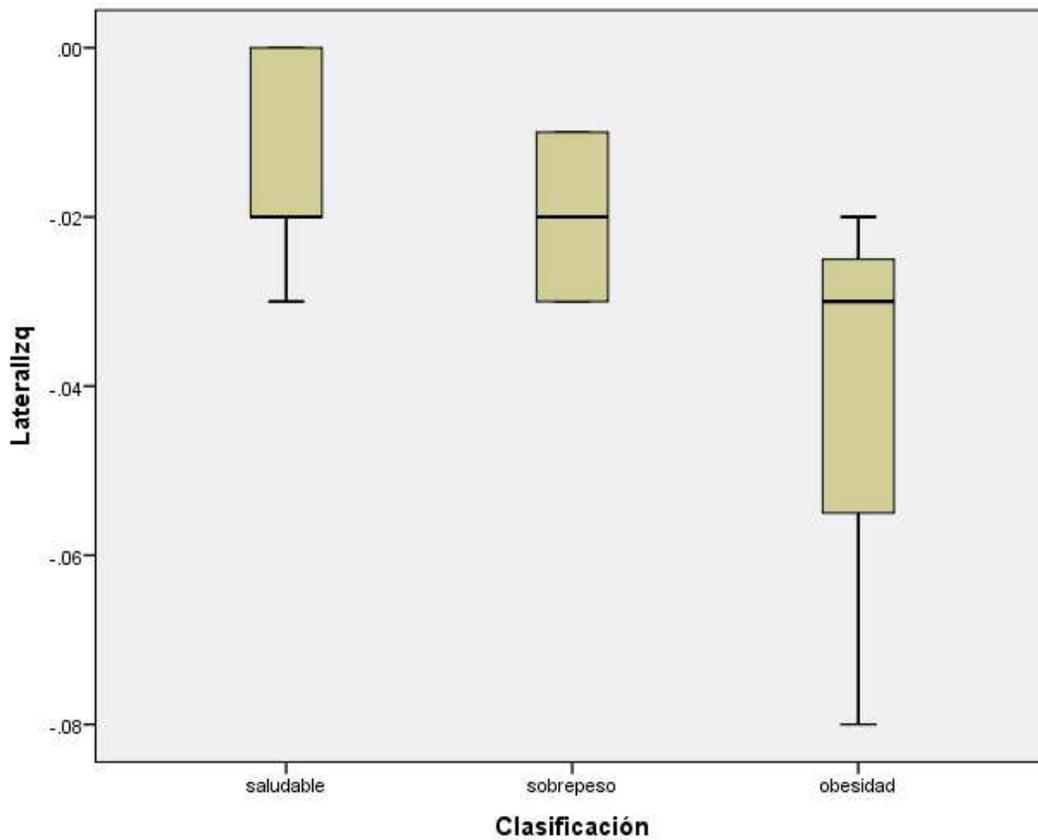


Figura 57. Gráfica de supinación del pie izquierdo sobre el eje lateromedial (Fx).

En la figura 58 se muestra la supinación del pie derecho. A diferencia de la supinación del pie izquierdo, los participantes en clasificación obesidad presentaron los valores más elevados en comparación con los participantes en clasificación saludable y sobrepeso. Se obtuvo un valor máximo de .08 y un mínimo de 0.00.

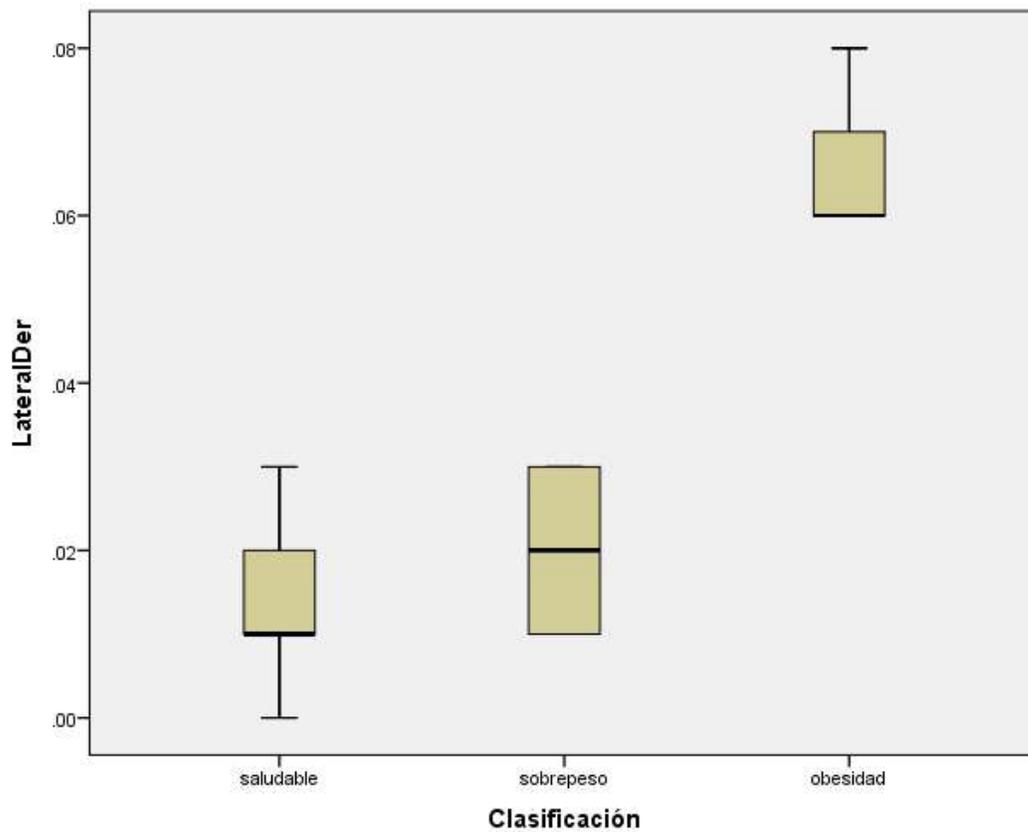


Figura 58. Gráfica de supinación del pie derecho sobre el eje lateromedial (Fx).

En la figura 59 se presenta la pronación del pie izquierdo de los participantes en sus tres clasificaciones. Se obtuvo un valor máximo de .11 y un mínimo de .05. Los participantes con sobrepeso muestran mayores valores de pronación en el pie izquierdo en comparación con los participantes en clasificación saludable y obesidad.

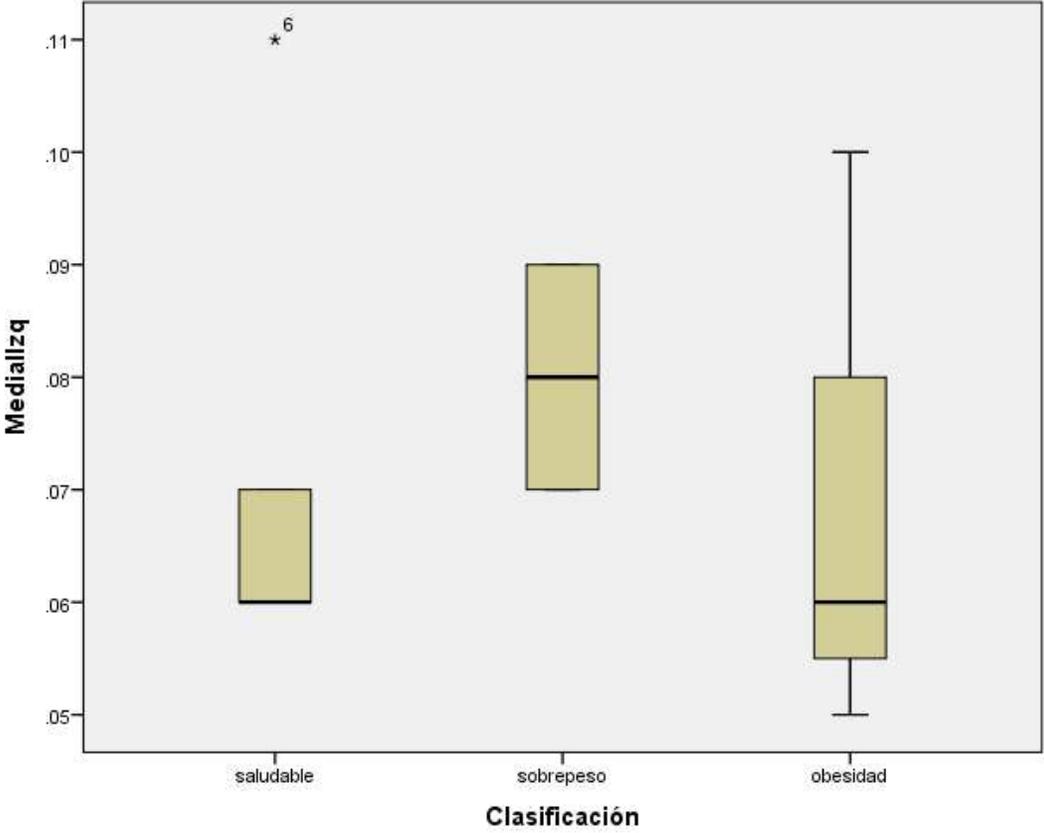


Figura 59. Gráfica de la pronación del pie izquierdo sobre el eje latero medial en la fase de contacto inicial.

En la figura 60 se presenta la pronación del pie derecho de los participantes del estudio. A diferencia de la pierna izquierda, los de la clasificación obesidad presentaron los valores más elevados en comparación con los participantes de las otras dos clasificaciones.

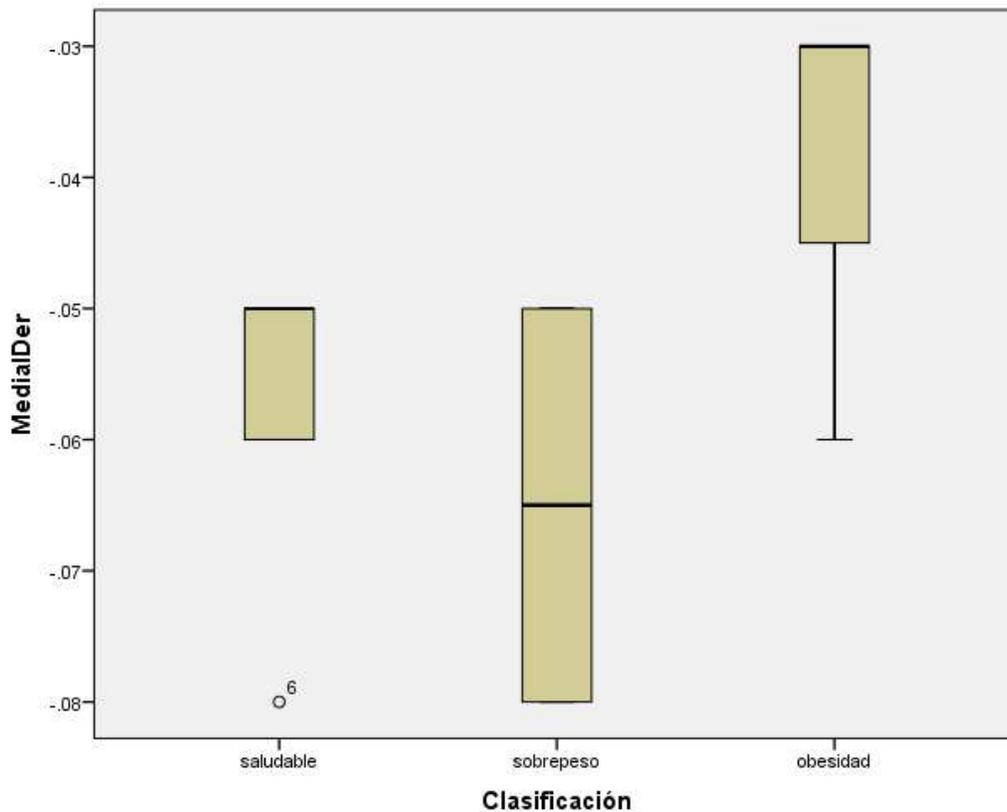


Figura 60. Gráfica de la pronación del pie derecho sobre el eje latero medial (Fx) en la fase de contacto inicial.

Continuando con el análisis de las variables evaluadas, se presentan las tablas de correlación entre cada una de las variables.

Tabla 23. Correlación de los parámetros espacio-temporales con otras variables.

Variables	Estatura	IMC	Grasa %	ÁngCad IzqFlex-O	ÁngCad IzqExt-A	ÁngTob IzqFD-O	Doble Apoyo	LZI	LZD	Cadencia	LP
Peso	.732*	.730*		-.693*	-.745*	-.661*	.714*				
Estatura				-.645*	-.677*		.966**	.841**	.844**	-.841**	.799**
Grasa		.724*									
Nivel AF		-.753*	-.646			.732*					
Longitud de zancada izquierda (m)	.841**						.769**		.991**	-.815*	.985**
Longitud de zancada derecha (m)	.844**			-.648*			.768**			-.835**	.994**
Velocidad promedio (m/s)					-.781**			.671*	.651*		.717*
Cadencia de pasos					.661*		-.800**				-.794**
Longitud de paso				-.657*	-.806**		.720*				
Doble apoyo						.650*					

Nota: IMC: índice de masa corporal, Nivel AF: nivel de actividad física, AngCadIzqFlex-O: ángulo de cadera Izquierda en flexión durante la fase de oscilación, AngCadIzqExt-A: ángulo de cadera izquierda en extensión durante la fase de apoyo, AngTobIzqFD-O: ángulo de tobillo izquierdo en flexión dorsal durante la fase oscilación, LZI: longitud de zancada izquierda, LZD: longitud de zancada derecha, LP: longitud de paso.

Tabla 24. Correlación de los parámetros cinemáticas de la marcha (ángulo de cadera y rodilla) con otras variables.

Variables	ÁngCadIzq FlexO.	ÁngCad IzqExtA.	ÁngCad DerExtA.	ÁngRod IzqExtO.	ÁngRod IzqFlexA.	ÁngRod DerExtO.	ÁngRod DerExtA.	LZI	LZD	Cadencia	Lat. der.	Med. Izq.	Valle izq.	Valle der.	Freno izq.
ÁngCadIzq (flex-O)		.863**													
ÁngCadIzq (ext-A)								-.754*	-.781**						
ÁngCadDer (flex-O)	.833**	.709*	.721*									-.797**			
ÁngCadDer (ext-A)		.697*													
ÁngRodIzq (flex-O)	.638*			.782**	.770**	-.709*							-.663*		
ÁngRodIzq (ext-O)					.806**										
ÁngRodIzq (flex-A)				.806**											-.659*
ÁngRodIzq (ext-A)					.794**		.733*								
ÁngRodDer (flex-O)							.685*								
ÁngRodDer (ext-O)	-.644*	-.648*													
ÁngRodDer (flex-A)						.709*	.636*			-.661*	-.636*			.758*	
ÁngRodDer (ext-A)															

Nota: Áng: ángulo, Flex: flexión, Ext: extensión, Cad: cadera, Rod: rodilla, A: apoyo O: oscilación, Lat: lateral, Med: medial, LZI: longitud de zancada izquierda, LZD: longitud de zancada derecha.

Tabla 25. Correlación de las variables cinemáticas de la marcha (ángulo de tobillo) con otras variables.

Variables	IMC	Grasa %	NAF	ÁngCaDer ExtA.	ÁngRodDer ExtO.	ÁngTobDer FP-O.	ÁngTobDer FD-O.	LZI	LZD	LP	VP (m/s)	Lat. Izq.	ImDer Vert.	ImpDer AP
ÁngToblzq (FD-A)		-.661*												.692*
ÁngToblzq (FP-O)				.709*		.915**		-.705*	-.683*	-.709*	-.809**			
ÁngToblzq (FD-O)							.709*							
ÁngToblzq (FP-A)	-.712*	-.661*	.659*				.685*							
ÁngTobDer (FD-A)											.675*	-.636*	-.638*	
ÁngTobDer (FP-O)											-.632*			
ÁngTobDer (FD-O)	-.699*	-.661*	.707*											
ÁngTobDer (FP-A)					.648*		.673*							

Nota: Áng: ángulo, FD: flexión dorsal, FP: flexión plantar, Flex: flexión, Ext: extensión, Tob: tobillo, Cad: cadera, Rod: rodilla, A: apoyo O: oscilación, Lat: lateral, Med: medial, LZI: longitud de zancada izquierda, LZD: longitud de zancada derecha, VP: velocidad promedio, Vert: vertical, Imp: impulso, AP: anteroposterior, NAF: nivel de actividad física, IMC: índice de masa corporal.

Tabla 26. Correlación de las variables cinéticas de la marcha con otras variables.

Variables	NAF	Doble apoyo	Cadencia	VP (m/s)	Lat.Izq	Lat. Der	Medial Izq.	Valle izq.	Valle der.	FrenoDer	ImDerVert
AterrizajeIzq										-.658*	
AterrizajeDer					.678*				.888**		
ValleIzq		.826**									
ValleDer	.732*							.888**			
ImpulsoIzq (Fz)						-.811**					.851**
ImpulsoDer (Fz)				-.835**							
FrenolIzq (Fy)											.633*
FrenoDer (Fy)		-.821**									
Impulso Izq (Fy)											
ImpulsoDer (Fy)											
LateralIzq(Fx)			-.760*					.678*			
LateralDer (Fx)			.679*		-.794**						
Medial Izq (Fx)											
Medial Der (Fx)							-.771**				

Nota: NAF: nivel de actividad física, VP: velocidad promedio, Lat: lateral, Izq: izquierdo, Der: derecho, Imp: impulso, Vert: vertical.

Capítulo 5.

Discusión

5.1 Discusión

El objetivo de la presente investigación fue analizar los parámetros biomecánicos de la marcha de niños, tomando en cuenta su porcentaje de grasa y el nivel de actividad física que realizan.

Según diversos autores, el sobrepeso y la obesidad infantil se relacionan con cambios músculo-esqueléticos negativos al caminar. Los niños que participaron en el estudio se catalogaron según su porcentaje de grasa obtenido por bioimpedancia eléctrica con la TANITA BF-689: saludable (color verde), sobrepeso (color amarillo), obeso (color rojo), y su nivel de actividad física se midió con el puntaje global obtenido en el cuestionario de actividad física PAQ-C. La evaluación biomecánica se realizó en el Laboratorio de Biomecánica y Ergonomía de la Facultad de Deportes, campus Mexicali de la Universidad Autónoma de Baja California, con el sistema de captura de movimiento Vicon®. Los participantes se desplazaron descalzos a lo largo del Laboratorio a una velocidad autoseleccionada (normal o simple).

En los parámetros espaciotemporales evaluados dentro de la presente investigación (velocidad, cadencia, longitud de paso, longitud de zancada y tiempo de doble apoyo), no se encontró diferencia significativa entre los participantes que presentaron un porcentaje de grasa corporal alto, comparado con los participantes con un porcentaje de grasa saludable, lo que contrasta con algunas investigaciones (Dufek et al., 2012; Shultz et al., 2011). En nuestro estudio se identificó la influencia del nivel de actividad física con los parámetros espaciotemporales, la cual impactó positivamente la marcha de los niños en clasificación sobrepeso y obesidad. Cabe destacar que todos los niños presentaron un nivel de actividad física moderado, y tenían un historial de actividad deportiva o recreativa.

Se encontró una correlación positiva entre la velocidad, el tiempo de doble apoyo, la longitud de zancada y la longitud de paso, tal como sucedió en otro estudio (Bovi et al., 2011), a excepción del tiempo de doble apoyo que mostró una tendencia

negativa en ese mismo trabajo. Otras investigaciones como la de Collado (2004), indican que los parámetros de longitud de paso y longitud de zancada están influenciados por la estatura y el tamaño de miembros inferiores, por lo tanto, no se podría afirmar que una alteración de estos parámetros sea consecuencia del exceso de grasa corporal.

Otra interpretación de estos resultados, podría basarse en una revisión sistemática centrada en resumir las características biomecánicas de los niños y adolescentes con sobrepeso y obesidad en comparación con los de peso normal; se informa de evidencia consistente que indica que los niños y adolescentes con sobrepeso y obesidad sostienen mayor anchura de paso y tiempo de apoyo como estrategia para adquirir mayor estabilidad; sin embargo, también se menciona la falta de calidad en la evidencia para los otros parámetros espaciotemporales (velocidad, cadencia, fase de doble apoyo y balanceo) (Molina-Garcia et al., 2019).

Los participantes en clasificación sobrepeso y obesidad no mostraron valores significativamente distintos a los de clasificación saludable en los ángulos de cadera, rodilla y tobillo. Probablemente esto se deba a que las principales diferencias cinemáticas en la ejecución de la marcha infantil se observan en el plano transversal; los niños con obesidad muestran mayor movimiento de la pelvis y mayor rotación interna de la cadera durante todo el ciclo de marcha (Lerner et al., 2014). A pesar de esta evidencia, un análisis de datos cinemáticos y cinéticos de 36 adolescentes con obesidad y peso saludable, menciona como principales hallazgos diferencias significativas en la mecánica de las articulaciones de miembros inferiores en los planos sagital y frontal. Además, propone que quizá los participantes obesos utilizaron estrategias de movimiento que disminuían los momentos articulares, especialmente en la cadera y la rodilla (McMillan et al., 2010).

El porcentaje de grasa mostró una relación negativa con los ángulos de tobillo en flexión dorsal durante la fase de apoyo y la fase de oscilación, y flexión plantar en la fase de apoyo, lo que podría indicar que el exceso de grasa corporal afecta la

movilidad de la articulación del tobillo (Shultz et al., 2014). La actividad física se relacionó positivamente con los ángulos de tobillo izquierdo en flexión plantar durante la fase de apoyo, y en flexión dorsal del tobillo derecho durante la fase de oscilación. A pesar de que solo se observaron estas correlaciones en dos de los ángulos de tobillo, se genera el cuestionamiento acerca de si la realización de actividad física a ciertas intensidades es capaz de favorecer la movilidad articular durante la ejecución de la marcha; este argumento no se ha podido debatir con otros estudios, dado que no se encontró literatura que incluyera el nivel de actividad física en sus evaluaciones.

Los niños en clasificación obesidad y sobrepeso no mostraron diferencias significativas en las variables cinéticas de la marcha (aterrizaje, valle, impulso vertical, freno e impulso anteroposterior), en comparación con los participantes en clasificación saludable. Contrariamente a estos resultados, en una investigación donde participaron 16 niños con obesidad que tuvo como objetivo encontrar la relación entre la composición corporal y la fuerza de reacción vertical al suelo, informaron de una relación positiva entre el peso corporal y las fuerzas de impacto, y una relación negativa de la masa magra con estas fuerzas (Villarrasa et al., 2017). Es relevante mencionar que en dicho estudio no consideraron el nivel de actividad de los participantes, lo que podría ser un factor de importancia, sobre todo por la relación positiva encontrada entre la masa muscular y la tasa de propulsión.

Al igual que en los parámetros espaciotemporales, el nivel de actividad física tuvo influencia positiva en la cinemática y la cinética de los participantes con sobrepeso y obesidad, durante la ejecución de la marcha.

Se vuelve importante indicar que algunos investigadores recomiendan realizar las evaluaciones biomecánicas a diferentes velocidades, debido a que algunos problemas músculo-esqueléticos pueden no afectar notoriamente la marcha a velocidad autoseleccionada, pero sí al momento de incrementar la velocidad o de realizar movimientos de mayor exigencia (Bovi et al., 2011; Lerner et al., 2014).

Los resultados de varias investigaciones apuntan hacia una relación entre la alteración negativa de los parámetros espaciotemporales, cinemáticos y cinéticos con el exceso de masa adiposa y la debilidad muscular, hecho que puede involucrar una falta de estímulo o actividad que propicie una mejora de la fuerza muscular en los niños (McMillan et al., 2010).

Se examinaron las diferencias en la activación muscular de las extremidades inferiores de 20 niños entre 8-12 años, con diferente masa corporal durante tres velocidades de marcha (Blakemore et al., 2013); mencionan que los participantes con sobrepeso registraron un aumento de la actividad en el músculo gastrocnemio durante la fase de apoyo para obtener más estabilidad y propulsión, pero que esta disminuyó en la fase de balanceo como estrategia para ahorrar energía. También se ha publicado sobre una necesidad mayor de fuerza en el músculo glúteo medio en personas con obesidad, y que, por lo tanto, podría suponer una debilidad del mismo (Lerner et al., 2014). Aunque el estudio de Lerner et al. (2014) fue aplicado en adultos, sus resultados en conjunto con los de Blakemore et al. (2013) brindan un panorama que sustenta la relación entre la masa muscular y el patrón de marcha.

Horsak et al. (2019), realizaron un estudio longitudinal en el que evaluaron la efectividad de un programa de ejercicio físico enfocado en las principales alteraciones músculo-esqueléticas de los miembros inferiores, ocasionadas por el exceso de peso en niños. El programa se basó en el trabajo de fuerza para el abductor de la cadera y el extensor de rodilla con el objetivo de mejorar la alineación dinámica de la rodilla, y por lo tanto, contribuir con cambios positivos en la biomecánica de la marcha. Los resultados obtenidos indicaron un aumento en la fuerza muscular, especialmente en los abductores de cadera; los niños sometidos al programa disminuyeron su aducción máxima de cadera y caída de la pelvis.

Pese a lo publicado en diversas investigaciones (Lerner et al., 2014; Blakemore et al., 2013; Shultz et al., 2014; Horsak et al., 2019), no se encontraron estudios que incluyeran el nivel de actividad física o las capacidades físicas en sus evaluaciones,

lo que podría ser un factor importante en las diferencias encontradas de algunas variables o hallazgos contradictorios que se debería tomar en cuenta.

En cuanto a la importancia de prevenir y tratar el sobrepeso y la obesidad, es indispensable analizar el hecho de que la mayoría de los programas de control de peso en niños se enfocan en actividades aeróbicas o ejercicios que involucran el desplazamiento o movilidad de su propio peso corporal (Cordero et al., 2014), y no están enfocados en trabajar la fuerza muscular, el equilibrio o mejorar la postura. Es necesario llevar a cabo más estudios que evalúen la efectividad de los programas de control de peso en los niños (Deforche et al., 2009).

El principal hallazgo del presente estudio es el siguiente: se identificó que el exceso de grasa corporal como único factor, no afecta significativamente el patrón de marcha infantil, dado que los participantes son físicamente activos, lo que contrasta con muchas investigaciones. Se compararon los resultados de este trabajo con los obtenidos por Villalobos et al. (2005), en el que presentan una estandarización de valores espaciotemporales y cinemáticos de la marcha en niños sanos, los cuales fueron muy similares. Esto pudiera deberse principalmente al tamaño de la muestra; sin embargo, la literatura informa acerca de la poca evidencia científica que vincula directamente las lesiones músculo-esqueléticas con las alteraciones en la biomecánica de los obesos (Wearing et al., 2006), por lo tanto, se requiere de más estudios de alta calidad para analizar la relación entre el sobrepeso y la obesidad con varios padecimientos músculo-esqueléticos, fracturas y lesiones desde la niñez (Paulis et al., 2014).

Capítulo 6

Conclusiones

6.1 Conclusiones

- Las características espaciotemporales (longitud de zancada, velocidad, cadencia de pasos, longitud de paso y tiempo de doble apoyo) cinemáticas (ángulo de cadera, rodilla y tobillo) y cinéticas (aterrizaje, valle, impulso vertical, freno, impulso anteroposterior, lateral y medial) de la marcha no presentaron alteraciones en los niños catalogados con sobrepeso y obesidad en comparación con los niños en clasificación saludable.
- Todos los niños se mantienen en un rango de nivel de actividad física moderado, esto explica que no se encontraran diferencias significativas en el patrón de marcha de los participantes con sobrepeso y obesidad, con respecto a los niños clasificados como saludables.
- El porcentaje de grasa se relacionó negativamente con algunos ángulos de tobillo, mientras que la actividad física obtuvo una tendencia positiva, lo que sugiere que el exceso de grasa corporal afecta la movilidad de tobillo y contrariamente, la actividad física la beneficia; faltan más estudios que incluyan un mayor número de participantes e intervenciones para poder sacar conclusiones al respecto.

Se recomienda que entrenadores y profesores de Educación Física ajusten las actividades de sus sesiones a las características individuales de los niños, e implementen estrategias que los motiven a llevar una vida más activa.

De igual manera, se invita a los investigadores a profundizar en el estudio de la biomecánica de la marcha infantil y las actividades de la vida cotidiana, tomando en cuenta variables que pueden influir en la mecánica de sus movimientos, tales como el porcentaje de grasa, el nivel de actividad física, el ejercicio y/o la práctica deportiva.

Capítulo 7.

Trabajo futuro

7.1 Trabajo futuro

Esta investigación es importante para el sector educativo, el sector salud y el área de deporte infantil competitivo, tanto en instituciones públicas como privadas. Los profesores de educación física y entrenadores deben estar al tanto de estos hallazgos para aplicar una correcta individualización dentro de sus sesiones, tomando en cuenta los parámetros desarrollados en el presente documento: la biomecánica, la composición corporal y la experiencia de movimiento previa al inicio del desarrollo de las capacidades físicas.

Considerando el presente trabajo, y dado que en la revisión de la bibliografía no se encontraron estudios que incluyeran el nivel de actividad física como variable, este factor debería considerarse como un parámetro para próximas investigaciones.

7.2 Recomendaciones para futuros proyectos

- Aumentar el tamaño de la muestra.
- Evaluar la marcha a distintas velocidades.
- Establecer un rango de talla como criterio de inclusión.
- Evaluar a una muestra que presente obesidad y sedentarismo.
- Realizar el análisis de cinemática considerando los tres planos corporales.
- Evaluar el equilibrio y otras capacidades físicas, así como la utilización de sensores inerciales, sobre todo si se pretende aportar al área de la educación física, la actividad física y/o el entrenamiento deportivo.
- Establecer un horario específico para realizar la evaluación biomecánica y la bioimpedancia eléctrica, así como controlar la previa ingesta de alimentos.

7.3 Limitaciones

- El tamaño de la muestra.
- En cuanto al nivel de actividad física, lo que se cree pudo minimizar la realización de actividades que les generaran mayor esfuerzo y, por lo tanto, obtener un nivel de actividad física mayor, fue la pandemia por COVID-19, puesto que uno de los lugares donde más se mueven, ya sea jugando o

corriendo, es en la escuela, y debido a la situación, los niños pasaban la mayor parte del día en casa.

El presente estudio establece la necesidad de innovar en análisis biomecánicos futuros, y sus aportaciones representan una oportunidad para los profesionales en actividad física y deporte, ya que demuestra que la práctica de actividad física y el trabajo de fuerza específico, impactan positivamente en la habilidad para caminar desde la niñez.

Capítulo 8.

Anexos

Anexo 1. Carta de consentimiento informado.



MAESTRÍA EN EDUCACIÓN FÍSICA Y DEPORTE ESCOLAR TRABAJO TERMINAL: ANÁLISIS BIOMECÁNICO A NIÑOS SEGÚN SU PORCENTAJE DE GRASA Y NIVEL DE ACTIVIDAD FÍSICA CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO



Estimado padre/madre de familia o tutor, por medio de la presente se le informa los procedimientos dentro de la evaluación que se realizará a su hijo o tutorado.

En primer lugar, el niño deberá responder un cuestionario sencillo acerca de la actividad física que realiza de manera cotidiana; la dinámica para esta actividad será conectarse a una video llamada organizada por la Licenciada en actividad física y deporte Fátima Flores, con la finalidad de que se resuelvan las dudas que puedan surgir en el proceso. El cuestionario tendrá una duración de 20 minutos.

Posteriormente se deberá asistir al laboratorio de biomecánica ubicado dentro de la Facultad de Deportes, con dirección Av. Monclova, Parcela 44; se pesará al niño y se realizarán algunas mediciones. La vestimenta para asistir a la evaluación es la siguiente: short y camiseta de licra (de preferencia que queden ajustadas al cuerpo), las niñas pueden llevar top deportivo (la vestimenta requerida va debajo de su vestimenta normal). Favor de evitar ropa con reflectantes o accesorios de metal, ya que esto podría afectar el sistema de captura de movimiento y por lo tanto la evaluación. Este procedimiento durará 2 horas aproximadamente.

Las evaluaciones se realizarán de manera individual, siendo obligatorio que asistan con su padre de familia o tutor.

El objetivo de dicha evaluación es conocer la manera de caminar de los niños, para identificar si su marcha es normal o tienen algún problema músculo esquelético.

Beneficios: No hay un beneficio directo por su participación en el estudio, sin embargo, si usted acepta participar, estará colaborando para el estudio del trabajo terminal de la alumna Fátima Angélica Flores Aguilera.

Confidencialidad: Toda la información que usted nos proporcione para el estudio será de carácter estrictamente confidencial, será utilizada únicamente por el equipo de investigación del proyecto y no estará disponible para ningún otro propósito. Usted quedará identificado(a) con un número y no con su nombre. Los resultados de este estudio serán publicados con fines científicos, pero se presentarán de tal manera que no podrá ser identificado(a).

Participación Voluntaria/Retiro: Su participación en este estudio es absolutamente voluntaria. Usted está en plena libertad de negarse a participar o de retirar su participación del mismo en cualquier momento. Su decisión de participar o no en el estudio no implicará ningún tipo de consecuencia.

Riesgos Potenciales/Compensación: No existe ningún riesgo potencial en participar en este estudio. Usted no recibirá ningún pago por participar en el estudio, y tampoco implicará algún costo para usted.

Aviso de Privacidad Simplificado: La investigadora principal de este estudio, Dra. Mirvana González Macías, es responsable del tratamiento y resguardo de los datos personales que nos proporcione, los cuales serán protegidos conforme a lo dispuesto por la **Ley General de Protección de Datos Personales en Posesión de Sujetos Obligados**. Los datos personales que le solicitaremos serán utilizados exclusivamente para las finalidades expuestas en este documento. Usted puede solicitar la corrección de sus datos o que sus datos se eliminen de nuestras bases o retirar su consentimiento para su uso. En cualquiera de estos casos le pedimos dirigirse al investigador responsable del proyecto a la siguiente dirección de correo gonzalez.mirvana@uabc.edu.mx

Números a Contactar: Si usted tiene alguna pregunta, comentario o preocupación con respecto al proyecto, por favor comuníquese con la investigadora responsable

del proyecto: Dra.Mirvana Gonzalez Macias al siguiente número de teléfono (686)1-48-25-18 en un horario de 11:00am a 07:00 pm ó al correo electrónico gonzalez.mirvana@uabc.edu.mx.

Declaración de la persona que da el consentimiento

- Se me ha leído esta Carta de consentimiento.
- Me han explicado el estudio de investigación incluyendo el objetivo, los posibles riesgos y beneficios, y otros aspectos sobre mi participación en el estudio.
- He podido hacer preguntas relacionadas a mi participación en el estudio, y me han respondido satisfactoriamente mis dudas.

Si usted entiende la información que le hemos dado en este formato, está de acuerdo en participar en este estudio, de manera total o parcial, entonces le pedimos que indique su consentimiento para participar en este estudio.

Registre su nombre y firma en este documento del cual le entregaremos una copia.

PARTICIPANTE

Nombre: _____

Firma: _____

Fecha/hora _____

TESTIGO 1

Nombre: _____

Firma: _____

Relación con la participante: _____

Fecha/hora: _____

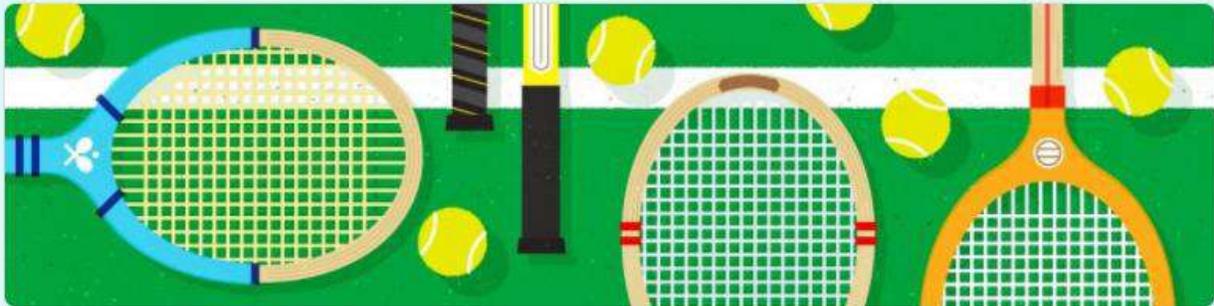
Nombre y firma del investigador o persona que obtiene el consentimiento:

Nombre: _____

Firma: _____

Fecha/hora _____

Anexo 2. Cuestionario para medir el nivel de actividad física.



Cuestionario de actividad física para niños (PAQ-C)

Queremos saber cuanta actividad física realizaste durante la última semana (7 días). Esto incluye todas aquellas actividades como deportes, educación física o danza que te hacen sudar y sentirte cansado, o juegos que hacen que se acelere tu respiración como jugar a las atrapadas, correr, saltar la cuerda, trepar, entre otros.

Recuerda:

1. No hay preguntas buenas o malas. Esto NO es un examen.
2. Se honesto al contestar las preguntas, es muy importante.

Nombre *

Texto de respuesta corta

Edad/Grado *

Texto de respuesta corta

1. Actividad física en tu tiempo libre: ¿Has hecho alguna de las siguientes actividades en tu tiempo libre? Si la respuesta es sí, ¿Cuántas veces la has hecho? Da clic en el siguiente enlace para responder: https://docs.google.com/document/d/1DtMhBYU1QutXDYHBQ9gnMOHnr-R9Y34Li3DR_I7Ik9M/edit?usp=sharing *

Texto de respuesta corta

2. En los últimos 7 días, durante la clase de educación física, ¿cuántas veces estuviste muy activo * durante la clase: jugando intensamente, corriendo, saltando, haciendo lanzamientos?

- No hice/hago educación física
- Casi nunca
- Algunas veces
- A menudo
- Siempre

3. En los últimos 7 días, ¿qué hiciste en tu tiempo de descanso? *

- Estar sentado (hablar, leer, tarea, jugar video juegos, trabajo en clase).
- Estar o pasear por los alrededores.
- Correr o jugar un poco.
- Correr y jugar bastante.
- Correr y jugar intensamente todo el tiempo.

4. En los últimos 7 días, ¿qué hiciste hasta la hora de comida (además de comer)? *

- Estar sentado (hablar, leer, jugar video juegos, mirar TV, tareas, trabajo en clase).
- Estar o pasear por los alrededores.
- Correr o jugar un poco.
- Correr y jugar bastante.
- Correr y jugar intensamente todo el tiempo.

5. En los últimos 7 días, ¿cuántos días hiciste deporte, baile o jugaste juegos en los que estuvieras muy activo después de la escuela? *

- Ninguna.
- 1 vez en la última semana.
- 2-3 veces en la última semana.
- 3-4 veces en la última semana.
- 5 veces o más en la última semana.

6. En los últimos 7 días, ¿cuántas tardes hiciste deporte, baile o jugaste juegos en los que estuvieras muy activo? *

- Ninguna.
- 1 vez en la última semana.
- 2-3 veces en la última semana.
- 4-5 veces en la última semana.
- 6-7 veces en la última semana.

7. El último fin de semana, ¿cuántas veces hiciste deporte, baile o jugaste juegos en los que estuvieras muy activo? *

- Ninguna.
- 1 vez.
- 2-3 veces.
- 4-5 veces.
- 6 o más veces.

8. ¿Cuál de las siguientes frases describe mejor tu última semana? (leer las 5 frases detenidamente antes de elegir una). *

- Todo o la mayoría de mi tiempo libre lo dediqué a actividades que me generan poco esfuerzo físico.
- Algunas veces (1-2 veces a la semana) hice actividades físicas en mi tiempo libre, como bailar, correr, nad...
- A menudo (3-4 veces a la semana) hice actividades físicas en mi tiempo libre.
- Muy frecuentemente (5-6 veces a la semana) hice actividades físicas en mi tiempo libre.
- Todo o la mayoría de mi tiempo libre (7 o más veces a la semana) lo dediqué a realizar actividad física.

9. Señala con qué frecuencia hiciste actividad física en cada día de la última semana. Da clic en el siguiente enlace para responder: *

https://docs.google.com/document/d/1DtMhBYU1GutXDYHBQ9gnMOHnr-R9Y34Li3DR_I7Ik9M/edit

Texto de respuesta corta

10. ¿Algo impidió que hicieras actividad física durante la última semana (enfermedad, lesión, etc)? *

- Sí
- No

Si tu respuesta fue Sí en la pregunta anterior, ¿cuál fue el motivo?

Texto de respuesta corta

Archivo para las preguntas 1 y 9 del cuestionario PAQ-C.

Pregunta 1. Marca con una "O" tu respuesta.

Actividad	NO	1-2	3-4	5-6	7 veces o más
Saltar la cuerda					o
Patinar	o				
Jugar juegos como las atrapadas				o	
Andar en bicicleta					o
Caminar más de 15 minutos			o		
Correr			o		
Aerobic/spinning					
Natación					
Bailar/danza				o	
Badminton/tenis					
Rugby					
Andar en patineta/scooter			o		
Fútbol			o		
Voleibol	o				
Hockey					
Baloncesto			o		
Balonmano					
Atletismo			o		
Pesas/gimnasio		o			
Artes marciales	o				
Otro					
Otro					

--	--	--	--	--	--

Pregunta 9. Marca con una "O" tu respuesta.

Día de la semana	Ninguna	Poca	Normal	Bastante	Mucha
Lunes				o	
Martes			o		
Miércoles				o	
Jueves				o	
Viernes			o		
Sábado				o	
Domingo			o		

**Anexo 3. Tablas de resultados de los parámetros
espaciotemporales y cinéticos del análisis biomecánico.**

Tabla 27. Longitud de zancada pierna izquierda.

LONGITUD DE ZANCADA PIERNA IZQUIERDA				
PARTICIPANTES EN CLASIFICACIÓN SOBREPESO Y OBESIDAD				
SUJETO	1er ZANCADA	2da ZANCADA	3er ZANCADA	PROMEDIO
1	0.96	0.93	0.95	0.95
2	1.14	1.28	1.23	1.22
3	1.11	1.04	1.06	1.07
4	1.26	1.27	1.24	1.26
5	1.19	1.15	1.20	1.18

Tabla 28. Longitud de zancada pierna izquierda.

LONGITUD DE ZANCADA PIERNA IZQUIERDA				
NIÑOS EN CLASIFICACIÓN SALUDABLE				
SUJETO	1er ZANCADA	2da ZANCADA	3er ZANCADA	PROMEDIO
1	1.24	1.21	1.20	1.22
2	1.19	1.34	1.32	1.28
3	1.02	1.00	1.00	1.01
4	1.08	1.01	1.05	1.05
5	1.28	1.28	1.25	1.27

Tabla 29. Longitud de zancada pierna derecha.

LONGITUD DE ZANCADA PIERNA DERECHA				
NIÑOS EN CLASIFICACIÓN SOBREPESO Y OBESIDAD				
SUJETO	1er ZANCADA	2da ZANCADA	3er ZANCADA	PROMEDIO
1	0.97	0.95	0.91	0.94
2	1.13	1.22	1.23	1.20
3	1.08	1.05	1.03	1.05
4	1.25	1.26	1.27	1.26
5	1.14	1.21	1.18	1.18

Tabla 30. Longitud de zancada pierna derecha.

LONGITUD DE ZANCA DA PIERNA DERECHA				
NIÑOS EN CLASIFICACIÓN SALUDABLE				
SUJETO	1er ZANCADA	2da ZANCADA	3er ZANCADA	PROMEDIO
1	1.27	1.19	1.26	1.24
2	1.27	1.29	1.34	1.30
3	0.97	1.02	1.04	1.01
4	1.09	1.00	1.06	1.05
5	1.21	1.23	1.33	1.26

Tabla 31. Longitud de paso.

LONGITUD DE PASO								
NIÑOS EN CLASIFICACIÓN SOBREPESO Y OBESIDAD								
SUJETO	PASO 1	PASO 2	PASO 3	PASO 4	PASO 5	PASO 6	PASO 7	PROMEDIO
1	472.58	501.65	464.92	485.77	450.19	469.41	486.99	475.93
2	560.38	579.16	568.29	655.45	626.20	611.49	620.53	603.53
3	507.94	576.20	540.34	512.78	529.90	508.34	552.11	532.51
4	609.00	646.68	620.98	641.85	634.47	644.31	604.29	628.80
5	561.08	585.09	612.56	599.65	557.52	624.50	577.16	588.22

Tabla 32. Longitud de paso.

LONGITUD DE PASO								
NIÑOS EN CLASIFICACIÓN SALUDABLE								
SUJETO	PASO 1	PASO 2	PASO 3	PASO 4	PASO 5	PASO 6	PASO 7	PROMEDIO
1	632.44	647.34	602.18	594.33	621.64	645.30	555.24	614.07
2	612.19	580.30	691.34	649.54	647.15	680.32	664.87	646.53
3	472.39	500.89	520.68	500.80	504.67	539.10	467.75	500.90
4	515.23	580.08	509.59	499.50	513.64	551.21	506.21	525.07
5	559.65	655.46	625.42	612.01	673.85	656.22	601.10	626.24

Tabla 33. Cadencia de pasos por minuto.

CADENCIA DE PASOS POR MINUTO		
NIÑOS EN CLASIFICACIÓN SOBREPESO Y OBESIDAD		
SUJETO	PIERNA IZQ	PIERNA DER
1	129.38	130.04
2	109.54	111.37
3	127.57	129.35
4	114.44	114.30
5	115.26	115.79

Tabla 34. Cadencia de pasos por minuto.

CADENCIA DE PASOS POR MINUTO		
NIÑOS EN CLASIFICACIÓN SALUDABLE		
SUJETO	PIERNA IZQ	PIERNA DER
1	102.15	100.04
2	109.49	108.02
3	120.78	120.60
4	115.44	115.11
5	100.08	101.67

Tabla 35. Velocidad promedio.

VELOCIDAD PROMEDIO (CENTRO DE MASA)	
NIÑOS EN CLASIFICACIÓN SOBREPESO Y OBESIDAD	
SUJETO	VP m/s
1	1.02
2	1.11
3	1.14
4	1.20
5	1.13

Tabla 36. Velocidad promedio.

VELOCIDAD PROMEDIO (CENTRO DE MASA)	
NIÑOS EN CLASIFICACIÓN SALUDABLE	
SUJETO	VP m/s
1	1.04
2	1.17
3	1.01
4	1.01
5	1.06

Tabla 37. Doble apoyo.

DOBLE APOYO (VERTICAL)	
NIÑOS EN CLASIFICACIÓN SOBREPESO Y OBESIDAD	
SUJETO	DOBLE APOYO (s)
1	0.11
2	0.15
3	0.09
4	0.13
5	0.12

Tabla 38. Doble apoyo.

DOBLE APOYO (VERTICAL)	
NIÑOS EN CLASIFICACIÓN SALUDABLE	
SUJETO	DOBLE APOYO (s)
1	0.13
2	0.15
3	0.10
4	0.13
5	0.14

Tabla 39. Aterrizaje (Fz).

ATERRIZAJE (EJE VERTICAL)		
NIÑOS EN CLASIFICACIÓN SOBREPESO Y OBESIDAD		
SUJETO	PIERNA IZQ	PIERNA DER
1	1.05	1.03
2	1.04	1.11
3	1.24	1.19
4	1.17	1.17
5	1.23	1.11

Tabla 40. Aterrizaje (Fz).

ATERRIZAJE (EJE VERTICAL)		
NIÑOS EN CLASIFICACIÓN SALUDABLE		
SUJETO	PIERNA IZQ	PIERNA DER
1	1.24	1.25
2	1.10	1.03
3	1.14	1.08
4	1.12	1.06
5	1.03	0.98

Tabla 41. Valle (Fz).

VALLE (EJE VERTICAL)		
NIÑOS EN CLASIFICACIÓN SOBREPESO Y OBESIDAD		
SUJETO	PIERNA IZQ	PIERNA DER
1	0.76	0.74
2	0.77	0.79
3	0.70	0.76
4	0.85	0.82
5	0.68	0.72

Tabla 42. Valle (Fz).

VALLE (EJE VERTICAL)		
NIÑOS EN CLASIFICACIÓN SALUDABLE		
SUJETO	PIERNA IZQ	PIERNA DER
1	0.90	0.92
2	0.79	0.81
3	0.90	0.88
4	0.80	0.87
5	0.83	0.77

Tabla 43. Impulso vertical (Fz).

IMPULSO (EJE VERTICAL)		
NIÑOS EN CLASIFICACIÓN SOBREPESO Y OBESIDAD		
SUJETO	PIERNA IZQ	PIERNA DER
1	1.05	1.03
2	1.14	1.02
3	1.00	0.97
4	0.95	0.93
5	0.99	0.97

Tabla 44. Impulso vertical (Fz).

IMPULSO (EJE VERTICAL)		
NIÑOS EN CLASIFICACIÓN SALUDABLE		
SUJETO	PIERNA IZQ	PIERNA DER
1	1.15	1.10
2	1.12	1.01
3	1.17	1.23
4	1.00	1.04
5	1.19	1.16

Tabla 45. Freno (Fy).

FRENO (ANTEROPOSTERIOR)		
NIÑOS EN CLASIFICACIÓN SOBREPESO Y OBESIDAD		
SUJETO	PIERNA IZQ	PIERNA DER
1	-0.17	-0.18
2	-0.13	-0.12
3	-0.23	-0.20
4	-0.16	-0.18
5	-0.23	-0.20

Tabla 46. Freno (Fy).

FRENO (ANTEROPOSTERIOR)		
NIÑOS EN CLASIFICACIÓN SALUDABLE		
SUJETO	PIERNA IZQ	PIERNA DER
1	-0.17	-0.22
2	-0.17	-0.15
3	-0.10	-0.14
4	-0.18	-0.12
5	-0.14	-0.12

Tabla 47. Impulso (Fy).

IMPULSO (ANTEROPOSTERIOR)		
NIÑOS EN CLASIFICACIÓN SOBREPESO Y OBESIDAD		
SUJETO	PIERNA IZQ	PIERNA DER
1	0.15	0.16
2	0.20	0.16
3	0.14	0.18
4	0.19	0.20
5	0.23	0.21

Tabla 48. Impulso (Fy).

IMPULSO (ANTEROPOSTERIOR)		
NIÑOS EN CLASIFICACIÓN SALUDABLE		
SUJETO	PIERNA IZQ	PIERNA DER
1	0.17	0.19
2	0.19	0.21
3	0.18	0.20
4	0.17	0.16
5	1.18	0.20

Tabla 49. Lateral (Fx).

LATERAL (LATEROMEDIAL)		
NIÑOS EN CLASIFICACIÓN SOBREPESO Y OBESIDAD		
SUJETO	PIERNA IZQ	PIERNA DER
1	-0.08	0.08
2	-0.01	0.01
3	-0.03	0.03
4	-0.02	0.06
5	-0.03	0.06

Tabla 50. Lateral (Fx).

LATERAL (LATEROMEDIAL)		
NIÑOS EN CLASIFICACIÓN SALUDABLE		
SUJETO	PIERNA IZQ	PIERNA DER
1	-0.003	0
2	-0.03	0.02
3	-0.02	0.01
4	-0.02	0.03
5	0	0.01

Tabla 51. Medial (Fx).

MEDIAL (LATEROMEDIAL)		
NIÑOS EN CLASIFICACIÓN SOBREPESO Y OBESIDAD		
SUJETO	PIERNA IZQ	PIERNA DER
1	0.06	-0.03
2	0.07	-0.05
3	0.09	-0.08
4	0.10	-0.06
5	0.05	-0.03

Tabla 52. Medial (Fx).

MEDIAL (LATEROMEDIAL)		
NIÑOS EN CLASIFICACIÓN SALUDABLE		
SUJETO	PIERNA IZQ	PIERNA DER
1	0.11	-0.08
2	0.06	-0.05
3	0.06	-0.05
4	0.06	-0.06
5	0.07	-0.05

Referencias

- Acosta, P. (2004). Biomecánica de la marcha. *Biomecánica Básica Del Sistema Musculoesquelético*, 452–486.
- Agudelo, A. I., Briñez, T. J., Guarín, V., & Ruiz, J. P. (2013). Marcha: descripción, métodos, herramientas de evaluación y parámetros de normalidad reportados en la literatura. *CES Movimiento y Salud*, 1(1), 29–43.
<http://revistas.ces.edu.co/index.php/movimientoysalud/article/view/2481>
- Alonso, I. L. (2018). *Aplicaciones del análisis de bioimpedancia en el estudio de la composición corporal de un grupo de niños con sobrepeso y obesidad*. [Trabajo de fin de grado, Universidad de Valladolid]. Repositorio documental. <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/31257>
- Arellano-González, J. C., Medellín-Castillo, H. I., & Cervantes-Sánchez, J. J. (2019). Identificación y análisis de los parámetros biomecánicos utilizados para la evaluación de la marcha humana normal y patológica. *Memorias Del XXV Congreso Internacional Anual de La SOMIM*, 1–9.
<http://somim.org.mx/memorias/memorias2019/mecteo.html>
- Ávalos Latorre, M. L., Reynoso Erazo, L., Colunga Rodríguez, C., Oropeza Tena, R., & González, M. Á. (2014). Relation of the body mass index, physical and sedentary activities in students. *Rev Elec Psic Izt*, 17(3), 978–996. <https://www.medigraphic.com/pdfs/epsicologia/epi-2014/epi143e.pdf>
- Barquera, S., Hernández-Barrera, L., Trejo-Valdivia, B., Shamah, T., Campos-Nonato, I., & Rivera-Dommarco, J. (2020). Obesidad en México, prevalencia y tendencias en adultos. *Ensanut 2018-19. Salud Publica de Mexico*, 62(6), 682–692. <https://doi.org/10.21149/11630>
- Blakemore, V. J., Fink, P. W., Lark, S. D., & Shultz, S. P. (2013). Mass affects lower extremity muscle activity patterns in children's gait. *Gait and Posture*, 38(4), 609–613.
<https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2013.02.002>
- Bovi, G., Rabuffetti, M., Mazzoleni, P., & Ferrarin, M. (2011). A multiple-task gait analysis approach: Kinematic, kinetic and EMG reference data for healthy young and adult subjects. *Gait and Posture*, 33(1), 6–13. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2010.08.009>
- Cámara, J. (2011). Análisis de la marcha: sus fases y variables espacio-temporales. *Entramado*, 7(1), 160–173. <https://www.redalyc.org/pdf/2654/265420116010.pdf>
- Chiza Mejías, P. A. (2018). Caracterización de alteraciones biomecánicas en pacientes con traumatismos músculo- esqueléticos de miembros inferiores, en el área de rehabilitación. *Universidad Técnica Del Norte. Facultad Ciencias de La Ssalud.*, 1–93.
- Carratalá, M. & Molina, F. (2020). Patrón cinemático de la cadera, la rodilla y el tobillo durante la marcha. In F. Molina & M. Carratalá, *La marcha humana biomecánica, evaluación y patología*. (1st ed., pp. 19-23). Saucedo.
- Collado V. S. (2004). *Análisis de la marcha humana con plataforma dinamométricas. Influencia del transporte de carga*. [Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid]. Repositorio de la

- producción académica en abierto de la UCM. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/4401/>
- Cordero, M. J. A., Piñero, A. O., Mur Villar, N., Sánchez García, J. C., García Verazaluze, J. J., García García, I., & Sánchez López, A. M. (2014). Programas de actividad física para reducir sobrepeso y obesidad en niños y adolescentes; revisión sistemática. *Nutr Hosp*, 30(4), 727–740. <https://doi.org/10.3305/nh.2014.30.4.7680>
- Correa, J. E., López, G. P., Pinzón, C. P., & Rodríguez, M. G. (2003). Análisis computarizado de la marcha de amputados transfemoral unilateral con prótesis endoesquelética y exoesquelética. *Análisis Computarizado de La Marcha de Amputados Transfemoral Unilateral Con Prótesis Endoesquelética y Exoesquelética*, 1(2), 135–150. <https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/revsalud/a.598>
- Daza J. (2007). Evaluación clínico-funcional del movimiento humano. Bogotá: Editorial médica panamericana.
- Deforche, B. I., Hills, A. P., Worringham, C. J., Davies, P. S. W., Murphy, A. J., Bouckaert, J. J., & De Bourdeaudhuij, I. M. (2009). Balance and postural skills in normal-weight and overweight prepubertal boys. *International Journal of Pediatric Obesity*, 4(3), 175–182. <https://doi.org/10.1080/17477160802468470>
- Dufek, J. S., Currie, R. L., Gouws, P. L., Candela, L., Gutierrez, A. P., Mercer, J. A., & Putney, L. A. G. (2012). Effects of overweight and obesity on walking characteristics in adolescents. *Human Movement Science*, 31(4), 897–906. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2011.10.003>
- Encuesta nacional de salud y nutrición*. Ensanut.insp.mx. (2018). Retrieved 7 June 2021, from https://ensanut.insp.mx/encuestas/ensanut2018/doctos/informes/ensanut_2018_presentacion_resultados.pdf.
- García García, I., & Sánchez López, A. M. (2014). Programas de actividad física para reducir sobrepeso y obesidad en niños y adolescentes; revisión sistemática. *Nutr Hosp*, 30(4), 727–740. <https://doi.org/10.3305/nh.2014.30.4.7680>
- Gómez J. M. (2016). *Análisis de la marcha: evaluación de un exoesqueleto aplicado a la marcha asistida* [Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid]. <https://core.ac.uk/download/pdf/148679697.pdf>
- Gómez, FS. R. (2005). *Estudio biomecánico de la marcha en pacientes con artrosis de cadera* [Tesis doctoral, Universidad de Valencia]. Repositorio de contenido libre. <https://roderic.uv.es/handle/10550/15636>
- González, M., Arrayales, E., & Villa, C. (2018). Biomecánica en la actividad física y el deporte: concepto y aplicación. *Revista UABC*, (2248-5608), 9-14.
- Horsak, B., Schwab, C., Baca, A., Greber-Platzer, S., Kreissl, A., Nehrer, S., Keilani, M., Crevenna, R., Kranzl, A., & Wondrasch, B. (2019). Effects of a lower extremity exercise program on gait biomechanics and clinical outcomes in children and adolescents with obesity: A randomized controlled trial. *Gait and Posture*, 70, 122–129. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2019.02.032>
- Lerner, Z. F., Board, W. J., & Browning, R. C. (2014). Effects of obesity on lower extremity muscle

- function during walking at two speeds. *Gait and Posture*, 39(3), 978–984.
<https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2013.12.020>
- Manchola-Gonzalez, J., Bagur-Calafat, C., & Girabent-Farrés, M. (2017). Reliability of the spanish version of the physical activity questionnaire PAQ-C. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de La Actividad Física y Del Deporte / International Journal of Medicine and Science of Physical Activity and Sport*, 17(65), 139–152. <https://doi.org/10.15366/rimcafd2017.65.010>
- McMillan, A. G., Pulver, A. M. E., Collier, D. N., & Williams, D. S. B. (2010). Sagittal and frontal plane joint mechanics throughout the stance phase of walking in adolescents who are obese. *Gait and Posture*, 32(2), 263–268. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2010.05.008>
- Molina Rueda, F., & Carratalá Tejada, M. (2020). *La marcha humana* (1st ed.). Editorial Médica Panamericana.
- Molina-Garcia, P., Migueles, J. H., Cadenas-Sanchez, C., Esteban-Cornejo, I., Mora-Gonzalez, J., Rodriguez-Ayllon, M., Plaza-Florido, A., Vanrenterghem, J., & Ortega, F. B. (2019). A systematic review on biomechanical characteristics of walking in children and adolescents with overweight/obesity: Possible implications for the development of musculoskeletal disorders. *Obesity Reviews*, February, 1033–1044. <https://doi.org/10.1111/obr.12848>
- Monge, E., Fernández, P., & Cuesta, A. (2020). Ciclo de la marcha: fases y parámetros espaciotemporales. In F. Molina & M. Carratalá, *La marcha humana biomecánica, evaluación y patología*. (1st ed., pp. 14-17). Saucedo.
- OR6-7 Force Platform. (s. f.). AMTI force and motion.
- Ordoñez Maciel. (2014). *Frecuencia de las alteraciones de la marcha en niños de 6-10 años obtenidas mediante la aplicación de un análisis cuantitativo de los parámetros espaciotemporales en estudiantes de 4° a 6° del turno matutino de la escuela primaria José Guadalupe Victoria, Lerma, Estado de México, durante el periodo de mayo-julio de 2012* [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de México]. Repositorio Institucional. <http://ri.uaemex.mx/oca/bitstream/20.500.11799/14902/1/Tesis.417992.pdf>
- Organización Mundial de la Salud, (2018). *Obesidad y sobrepeso. Datos y cifras*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>.
- Osorio, J. henry, & Valencia, M. hernando. (2013). Bases para el Entendimiento del Proceso de la Marcha Humana. *Archivos de Medicina*, 13(1), 88–96.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=273828094009>
- Paulis, W. D., Silva, S., Koes, B. W., & Van Middelkoop, M. (2014). Overweight and obesity are associated with musculoskeletal complaints as early as childhood: A systematic review. *Obesity Reviews*, 15(1), 52–67. <https://doi.org/10.1111/obr.12067>
- Pecoraro, P., Guida, B., Caroli, M., Trio, R., Falconi, C., Principato, S., & Pietrobelli, A. (2003). Body mass index and skinfold thickness versus bioimpedance analysis: Fat mass prediction in children. *Acta Diabetologica*, 40(SUPPL. 1), 278–281. <https://doi.org/10.1007/s00592-003-0086-y>

- Pérez, S., Koutsou, A., Taylor, J. & Soriano, J. (2020). Análisis instrumental de los parámetros cinemáticos, cinéticos y electromiográficos. En F. Molina & M. Carratalá, *La marcha humana biomecánica, evaluación y patología*. (1st ed., pp. 77). Saucedá.
- Ridao, M. del C. (2019). *Valoración de la marcha asistida con bastones de antebrazo: diseño de métodos observacional y tecnológico. Análisis innovador de parámetros espaciotemporales del paso* [Tesis doctoral, Universidad de Sevilla]. Repositorio de investigación. <https://hdl.handle.net/11441/88193>
- Shultz, S. P., Anner, J., & Hills, A. P. (2009). Paediatric obesity, physical activity and the musculoskeletal system. In *Obesity Reviews* (Vol. 10, Issue 5, pp. 576–582). <https://doi.org/10.1111/j.1467-789X.2009.00587.x>
- Shultz, Sarah P., Browning, R. C., Schutz, Y., Maffei, C., & Hills, A. P. (2011). Childhood obesity and walking: Guidelines and challenges. *International Journal of Pediatric Obesity*, 6(5–6), 332–341. <https://doi.org/10.3109/17477166.2011.590202>
- Shultz, Sarah P., D'Hondt, E., Fink, P. W., Lenoir, M., & Hills, A. P. (2014). The effects of pediatric obesity on dynamic joint malalignment during gait. *Clinical Biomechanics*, 29(7), 835–838. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2014.05.004>
- Tanita Corporation of America Inc. (2010). *Tanita BIA Instruction manual: model: BF-689*. [file:///Users/VirginiaHills/Google Drive/Downloads/BF-689manual_R0.pdf](file:///Users/VirginiaHills/Google%20Drive/Downloads/BF-689manual_R0.pdf)
- Vicon Motion Systems Ltd. (2017). *Plug-in Gait Reference Guide*.
- Villalobos, J., Parodi, A., & González, R. (2005). *Estandarización de valores cinemáticos en niños sanos*. *Rev Mex Med Fis Rehab*, 17(2):47-53. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=2206>
- Villarrasa-Sapiña, I., Serra-Añó, P., Pardo-Ibáñez, A., Gonzalez, L. M., & García-Massó, X. (2017). Relationship between body composition and vertical ground reaction forces in obese children when walking. *Clinical Biomechanics*, 41, 77–81. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2016.12.008>
- Villarrasa S. I. (2019). *Influencia de la obesidad infantil sobre el control postural y la marcha* [Tesis doctoral, Universitat de Valencia]. Base de datos Institucional. <https://roderic.uv.es/handle/10550/70567>
- Wearing, S. C., Hennig, E. M., Byrne, N. M., Steele, J. R., & Hills, A. P. (2006). Musculoskeletal disorders associated with obesity: A biomechanical perspective. *Obesity Reviews*, 7(3), 239–250. <https://doi.org/10.1111/j.1467-789X.2006.00251.x>