

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**

**FACULTAD DE DEPORTES**

**“CAMPUS MEXICALI”**



**ANÁLISIS BIOMECÁNICO DE LA MARCHA CON MOCHILAS A LA ESPALDA EN  
ESTUDIANTES DE SEXTO GRADO DE PRIMARIA**

**Trabajo terminal**

**Que para obtener el grado de:**

**MAESTRO EN EDUCACIÓN FÍSICA Y DEPORTE ESCOLAR**

**PRESENTA**

**LAFD. KARLA RAQUEL KEYS GONZÁLEZ**

**MEXICALI, BAJA CALIFORNIA.**

**FECHA**

**5 de Junio del 2017.**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**

**FACULTAD DE DEPORTES**

**“CAMPUS MEXICALI”**

**ANÁLISIS BIOMECÁNICO DE LA MARCHA CON MOCHILAS A LA ESPALDA EN  
ESTUDIANTES DE SEXTO GRADO DE PRIMARIA**

**Trabajo terminal**

Que para obtener el grado de:

**MAESTRO EN EDUCACIÓN FÍSICA Y DEPORTE ESCOLAR**

**PRESENTA**

**LAFD. KARLA RAQUEL KEYS GONZÁLEZ**

**Comité**

---

**Mtro. Emilio Manuel Arrayales Millán**

**Presidente**

**Dr. Heriberto Antonio Pineda Espejel**

**Secretario**

---

**Dra. Mirvana Elizabeth González Macías**

**Vocal**

**Mtro. Samuel Nicolás Rodríguez Lucas**

**Vocal**

**Examen presentado el 5 de junio del 2017.**

**Copyright © 2017**  
**LAFD. Karla Raquel Keys González**  
**Derechos Reservados**

## **Dedicatoria**

A mi familia que tanto quiero y todo le debo.

## **Agradecimientos**

Le doy las gracias a CONACYT y a todos aquellos que me ayudaron a hacer posible el presente trabajo, y a apasionarme más en el área de la Biomecánica. Entre ellos, gracias al equipo de Vicon en Denver y México, principalmente a Lisset por su infinita paciencia y apoyo. Así también a los maestros del Departamento de Biomecánica de la Universidad de Omaha, Nebraska; por recibirnos e instruirnos en un mundo totalmente nuevo.

También no pueden faltar a mis maestros y compañeros de Maestría, mi Director y Co-Director de trabajo terminal, así como al personal de la Facultad de Deportes, muchas gracias por su dedicación y atenciones.

Y en especial y con todo mi corazón les agradezco a mi mamá, a José y a mi hijo Aleksey por estar conmigo y apoyarme durante todo momento en esta etapa y en mi vida.

**¡Muchas Gracias!**

## ÍNDICE

<b>1 ANTECEDENTES</b> .....	10
1.1 Definición de la marcha .....	10
1.2 Desarrollo de la marcha normal.....	10
1.3 Fases de la marcha .....	11
1.4 Parámetros de análisis de la marcha.....	15
1.5 ¿Qué puede modificar la marcha?.....	16
1.5.1 Factores Patológicos.....	16
1.5.2 Factores intrínsecos.....	16
1.5.3 Factores extrínsecos.....	18
<b>2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	19
2.1 Variables .....	20
2.2 Definición conceptual de las variables.....	20
2.3 Definición operacional de las variables .....	20
<b>3 JUSTIFICACIÓN</b> .....	22
<b>4 HIPÓTESIS</b> .....	22
<b>5 OBJETIVOS</b> .....	22
5.1 Objetivo General.....	22
5.2 Objetivos Específicos .....	22
<b>6 METODOLOGÍA</b> .....	23
6.1 Participantes.....	23
6.2 Instrumentos.....	23
6.3 Procedimientos.....	26
<b>7 RESULTADOS</b> .....	32
7.1 Duración de doble apoyo.....	32
7.2 Longitud de paso.....	35
7.3 Impacto de talón, pierna derecha e izquierda.....	37
7.4 Valle medio, pierna derecha e izquierda. ....	41
7.5 Propulsión, pierna derecha e izquierda.....	45
7.6 Prueba t de Student.....	52
<b>8 DISCUSIÓN</b> .....	55
<b>9 CONCLUSIÓN</b> .....	58
<b>10 BIBLIOGRAFÍA</b> .....	59

## Índice de Figuras

Figura 1. Ciclo de la marcha.....	11
Figura 2. Contacto Inicial.....	12
Figura 3. Recepción de la carga.....	12
Figura 4. Apoyo medio .....	13
Figura 5. Apoyo Final .....	13
Figura 6. Preoscilación .....	14
Figura 7. Oscilación inicial.....	14
Figura 8. Oscilación media .....	15
Figura 9. Oscilación final .....	15
Figura 10. Fuerzas de reacción verticales (azul). .....	21
Figura 11. Longitud de paso.....	21
Figura 12. Bonita 10 .....	24
Figura 13. Marcador Reflectante pasivo.....	25
Figura 14. Bonita Video 720c .....	25
Figura 15. Software Nexus 2 .....	25
Figura 16. Plataformas de fuerza modelo OR6-6 de AMTI™ .....	26
Figura 17. Indicación para apoyos válidos en la plataforma. ....	31
Figura 18. Duración de doble apoyo sin mochila, media y desviación estándar.....	33
Figura 19. Duración de doble apoyo con mochila, media y desviación estándar. ....	33
Figura 20. Duración de doble apoyo sin mochila, gráfica de normalidad. ....	34
Figura 21. Duración de doble apoyo con mochila, gráfica de normalidad. ....	34
Figura 22. Longitud de paso sin mochila, media y desviación estándar. ....	35
Figura 23. Longitud de paso con mochila, media y desviación estándar.....	35
Figura 24. Longitud de paso sin mochila, gráfica de normalidad.....	36
Figura 25. Longitud de paso con mochila, gráfica de normalidad.....	36
Figura 26. Impacto de talón pierna derecha sin mochila, media y desviación estándar. ....	37
Figura 27. Impacto de talón pierna izquierda sin mochila, media y desviación estándar. ....	37
Figura 28. Impacto de talón pierna derecha sin mochila, gráfica de normalidad. ....	38
Figura 29. Impacto de talón pierna izquierda sin mochila, gráfica de normalidad. ....	38
Figura 30. Impacto de talón pierna derecha con mochila, media y desviación estándar. ....	39
Figura 31. Impacto de talón pierna izquierda con mochila, media y desviación estándar. ....	39
Figura 32. Impacto de talón pierna derecha con mochila, gráfica de normalidad.....	40
Figura 33. Impacto de talón pierna izquierda con mochila, gráfica de normalidad. ....	40
Figura 34. Valle medio pierna derecha sin mochila, media y desviación estándar.....	41
Figura 35. Valle medio pierna izquierda sin mochila, media y desviación estándar. ....	41
Figura 36. Valle medio pierna derecha sin mochila, gráfica de normalidad.....	42
Figura 37. Valle medio pierna izquierda sin mochila, gráfica de normalidad. ....	42
Figura 38. Valle medio pierna derecha con mochila, media y desviación estándar.....	43

Figura 39. Valle medio pierna izquierda con mochila, media y desviación estándar. ....	43
Figura 40. Valle medio pierna derecha con mochila, gráfica de normalidad. ....	44
Figura 41. Valle medio pierna izquierda con mochila, gráfica de normalidad. ....	44
Figura 42. Propulsión pierna derecha sin mochila, media y desviación estándar. ....	45
Figura 43. Propulsión pierna izquierda sin mochila, media y desviación estándar. ....	45
Figura 44. Propulsión pierna derecha sin mochila, gráfica de normalidad. ....	46
Figura 45. Propulsión pierna izquierda sin mochila, gráfica de normalidad. ....	46
Figura 46. Propulsión pierna derecha con mochila, media y desviación estándar. ....	47
Figura 47. Propulsión pierna izquierda con mochila, media y desviación estándar. ....	47
Figura 48. Propulsión pierna derecha con mochila, gráfica de normalidad. ....	48
Figura 49. Propulsión pierna izquierda con mochila, gráfica de normalidad. ....	48
Figura 50. Fuerza de reacción vertical en las tres pruebas sin mochila, pierna derecha (escalas azules); pierna izquierda (escalas naranjas). Sujeto 1. ....	49
Figura 51. Fuerza de reacción vertical en las cuatro pruebas sin mochila, pierna derecha (escalas azules); pierna izquierda (escalas naranjas). Sujeto 2. ....	49
Figura 52. Fuerza de reacción vertical en las cuatro pruebas sin mochila, pierna derecha (escalas azules); pierna izquierda (escalas naranjas). Sujeto 3. ....	50
Figura 53. Fuerza de reacción vertical en las tres pruebas sin mochila, pierna derecha (escalas azules); pierna izquierda (escalas naranjas). Sujeto 4. ....	50
Figura 54. Fuerza de reacción vertical en las cuatro pruebas con mochila, pierna derecha (escalas azules); pierna izquierda (escalas naranjas). Sujeto 1. ....	50
Figura 55. . Fuerza de reacción vertical en las cuatro pruebas con mochila, pierna derecha (escalas azules); pierna izquierda (escalas naranjas). Sujeto 3. ....	51
Figura 56. . Fuerza de reacción vertical en las cuatro pruebas con mochila, pierna derecha (escalas azules); pierna izquierda (escalas naranjas). Sujeto 2. ....	51
Figura 57. . Fuerza de reacción vertical en las tres pruebas con mochila, pierna derecha (escalas azules); pierna izquierda (escalas naranjas). Sujeto 4. ....	51
Figura 58. Duración de doble apoyo. ....	52
Figura 59. Longitud de paso. ....	52
Figura 60. Impacto talón, pierna derecha. ....	53
Figura 61. Impacto talón, pierna izquierda. ....	53
Figura 62. Valle medio, pierna derecha. ....	54
Figura 63. Valle medio, pierna izquierda. ....	54
Figura 64. Impulso, pierna derecha. ....	54
Figura 65. Impulso, pierna izquierda. ....	55

## Índice de Tablas

Tabla 1. Variables. ....	20
Tabla 2. Medidas de anchura, espesor y longitudes. ....	26
Tabla 3. Marcadores, descripción y localización. ....	27
Tabla 4. Prueba de normalidad de las variables. ....	32



## RESUMEN

La marcha es la forma de locomoción caracterizada por la posición bípeda, donde a cada paso el centro de gravedad del cuerpo sale del área de la base de apoyo, para llevarlo hacia adelante. En la actualidad una parte de los niños en edad escolar utilizan las mochilas a la espalda durante su trayecto a la escuela. Las cargas que los niños y adolescentes transportan causan en algunos casos dolor de espalda, que además pueden continuar hasta la edad adulta (De Paula, Silva, Paschoarelli y Fujii, 2012; Dockrell, Simms y Blake, 2013); además de provocar modificaciones en la forma de andar como compensación al peso extra (Christine, Kistner, Fiebert y Roach, 2012).

En este estudio se toma en cuenta el uso de la mochila durante la marcha en el ámbito escolar en niños de 11 y 12 años, utilizando la mochila a la espalda de dos correas, la cual permite transportar con una correa en cada hombro una masa externa en la parte postero-superior del torso. Participaron 4 estudiantes que actualmente se encuentran cursando el sexto grado de primaria en Mexicali, Baja California, México, tres niños y una niña, con una edad promedio de 11.5 años ( $dt=0.57$ ).

Se llevó a cabo la comparación de las variables obtenidas en la marcha sin mochila, con las variables obtenidas durante la marcha con mochila con la prueba T de Student para muestras relacionadas. El peso de la mochila equivalió en promedio al 17.82 % de peso corporal de los niños. Se encontró que la Duración de doble apoyo obtuvo una alta diferencia significativa entre las medias ( $t=-8.224$ ,  $p=0.004$ ). Mientras que la Longitud de paso no obtuvo diferencia significativa ( $t=-0.410$ ,  $p=0.709$ ).

El impacto del talón, obtuvo una alta diferencia significativa  $t=-10.463$ ,  $p=0.002$  y  $t=-8.798$ ,  $p=0.003$  para la pierna derecha y la pierna izquierda respectivamente. Y una alta diferencia significativa para la pierna derecha ( $t=-7.057$ ,  $p=0.006$ ) y una diferencia significativa para la pierna izquierda ( $t=-3.963$ ,  $p=0.029$ ) en el valle medio. La propulsión obtenida tuvo diferencias significativas en ambas piernas,  $t=-3.275$ ,  $p=0.047$  la pierna derecha y  $t=-3.108$ ,  $p=0.053$  para la pierna izquierda.

# **ANÁLISIS BIOMECÁNICO DE LA MARCHA CON MOCHILAS A LA ESPALDA EN ESTUDIANTES DE SEXTO GRADO DE PRIMARIA**

## **1 ANTECEDENTES**

### **1.1 Definición de la marcha**

Mademli y Morey (2015) consideran a la marcha como una sucesión de caídas controladas, pues mencionan que al caminar nuestro centro de gravedad sale continuamente de nuestra base de apoyo, por lo que si no se adelantara la pierna libre caeríamos.

Henry y Hernando (2013) definen a la marcha como la forma de desplazamiento en posición bípeda propia del ser humano en la que suceden apoyos bipodales y los monopodales. Además mencionan que la locomoción humana normal se considera como una serie de movimientos alternantes, rítmicos, de las extremidades y del tronco que determinan un desplazamiento hacia delante del centro de gravedad.

Dadas la dos definiciones anteriores deducimos que la marcha es la forma de locomoción caracterizada por la posición bípeda, descrita como una serie de caídas controladas, ya que a cada paso el centro de gravedad del cuerpo sale del área de la base de apoyo, lo cual representa un desequilibrio con el que podríamos caer de no ser que adelantáramos la pierna libre para iniciar con el siguiente paso cada vez, rítmica y alternada, para llevar hacia adelante el centro de gravedad.

### **1.2 Desarrollo de la marcha normal**

De acuerdo con Henry y Hernando (2013), durante los primeros dos meses de vida, los infantes realizan reflejos de marcha automática al sujetarlos por la axilas, sin embargo, a esta edad no son capaces de sostener su propio peso con sus piernas, ni de mantener erguida la cabeza. A partir de los siete meses comienza a desplazarse con movimientos de rastreo, al llegar a los diez meses el niño logra gatear con el abdomen cerca del suelo y comienza a colocarse de pie esporádicamente, solo si logra conseguir algo de que aferrarse.

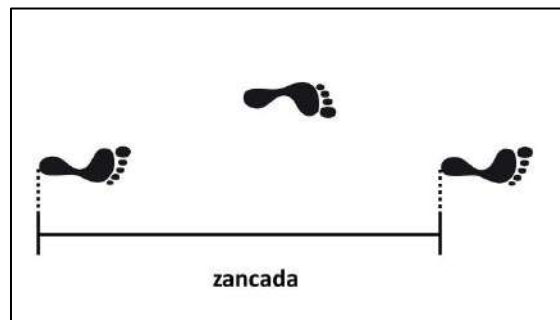
Entre los 11 y 12 meses algunos niños gatean utilizando manos y pies y dan los primeros pasos con alguna ayuda como sujetándose de algún mueble o con ayuda de

algún adulto. Alrededor de los 12 y 15 meses de edad es cuando gran parte de los niños comienza a realizar la marcha de manera independiente, de no ser que presente algunos problemas como pueden ser sobrepeso, o deficiencias motoras o sensoriales; lo cual provocaría una tardía adquisición de la marcha; en esta etapa la marcha es insegura e inestable. Al alcanzar los 18 meses el infante ya es capaz de realizar otras actividades al caminar, como utilizar escaleras o caminar hacia atrás.

A los 2 y 3 años el niño ya obtiene un mejor equilibrio, velocidad y control de la marcha. Para los 5 y 7 años la marcha de los niños se asemeja cada vez más a la de un adulto, su andar se vuelve más estable, la longitud y velocidad de paso se ven aumentadas no solo por el crecimiento de los miembros inferiores, sino por la mejora de su coordinación y equilibrio. Cuando los niños llegan a los 7 y 9 años de edad los niños ya han alcanzado el patrón de la marcha propio de un adulto.

### 1.3 Fases de la marcha

La marcha es un movimiento cíclico, para su análisis se considera el lapso de dos movimientos idénticos, por ejemplo, cuando el pie que se toma como referencia hace su primer contacto con el suelo, y termina cuando ese mismo pie vuelve a tocar el piso; a esto se le denomina ciclo o zancada, y es la unidad básica de la marcha (Ver Figura 1). El ciclo de la marcha se divide en dos fases principales: la fase de apoyo y la fase de oscilación (Mademli y Morey, 2015).



*Figura 1. Ciclo de la marcha*

La fase de apoyo la cual representa un 60% del ciclo de la marcha, es cuando el pie se encuentra en contacto con el suelo. Esta fase se divide en dos, en apoyo monopodal, donde el peso del cuerpo recae en la vertical de un solo pie; y el apoyo doble que se refiere al contacto final de los dedos del pie que se eleva y el inicio del apoyo del talón del pie que baja (existen dos en cada ciclo, al inicio y al terminar) (Mademli y Morey, 2015). A su vez autores como Viel (2002) o Henry y Hernando (2013) distinguen cinco periodos: contacto inicial, recepción de la carga, apoyo medio, apoyo final y preoscilación.

El contacto inicial es el instante en que el talón, de la pierna que está por comenzar la fase de apoyo, toca el suelo (Ver Figura 2). Este periodo abarca entre el 0 y 2% del ciclo de la marcha, donde el tobillo se encuentra en posición neutra o con una ligera flexión plantar.

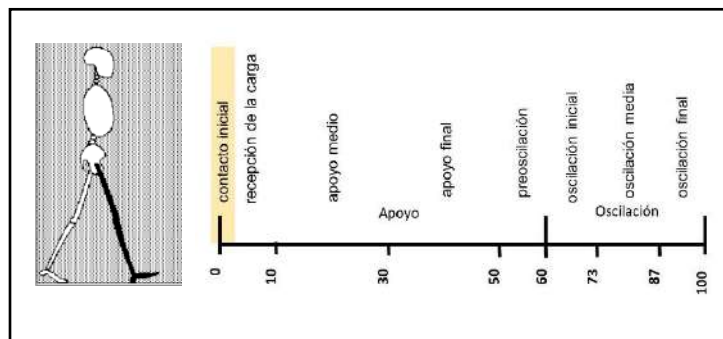


Figura 2. Contacto Inicial

La recepción de la carga amortigua la transferencia del peso del cuerpo que está recibiendo la pierna de apoyo, y comprende entre el 0 y el 10% del ciclo la marcha (Ver Figura 3).

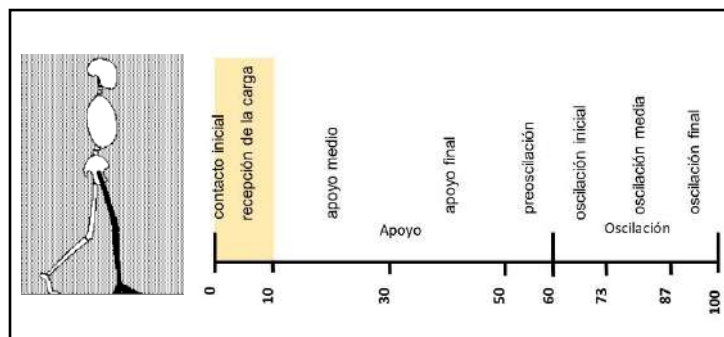
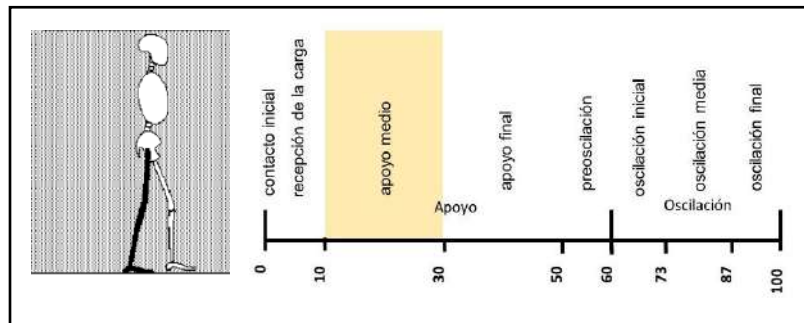


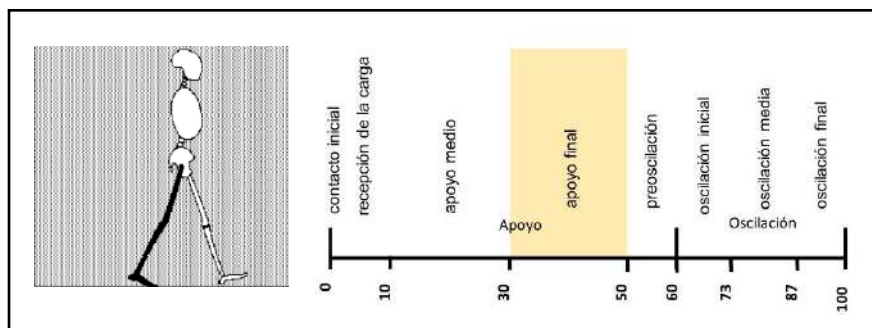
Figura 3. Recepción de la carga

Durante el apoyo medio, el pie está plano sobre el suelo, cuando esto ocurre el trocánter mayor se encuentra alineado verticalmente con el centro del pie, considerado desde un plano sagital; en este periodo la tibia avanza en forma de pivote sobre el tobillo haciendo una flexión dorsal y se considera entre el 10 y 30% del ciclo de la marcha (Ver Figura 4).



*Figura 4. Apoyo medio*

En el apoyo final el talón despega del suelo, mientras la cadera se extiende bajo acción de los glúteos y los isquiotibiales, y el centro de masa del cuerpo avanza por delante del punto de apoyo, este periodo se encuentra entre el 30 y 50% del ciclo de la marcha (Ver Figura 5).



*Figura 5. Apoyo Final*

La preoscilación se da entre el 50 y 60% del ciclo de la marcha, el miembro se prepara para la fase de oscilación; el muslo comienza a acelerar, lo cual provoca que la pierna se eleve por efecto de la inercia (Ver Figura 6).

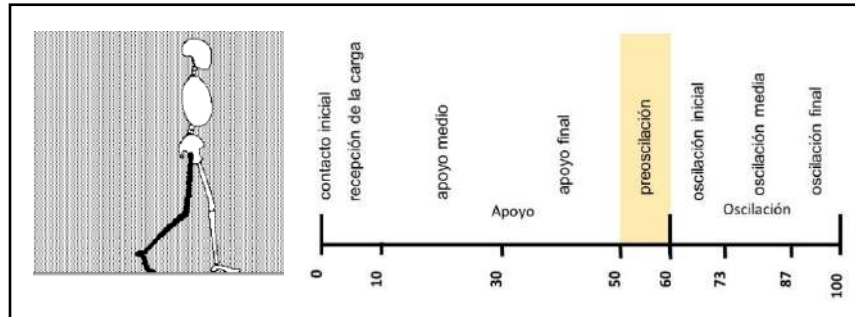


Figura 6. Preoscilación

La fase de oscilación comprende el 40% restante del ciclo de la marcha, esta fase es cuando el pie está en el aire y se prepara para el siguiente apoyo. La pierna actúa como un péndulo, por lo que los músculos se encuentran casi inactivos, además, esto le permite al sujeto reaccionar rápidamente ante obstáculos. La fase de oscilación termina en el momento en que el talón toca nuevamente en suelo (Mademli y Morey, 2015; Viel, 2002). De acuerdo a los autores Viel (2002), Henry y Hernando (2013) y Mademli y Morey (2015), esta fase se divide en tres periodos: oscilación inicial, oscilación media y oscilación final.

En la oscilación inicial la flexión de cadera permite la movilización del muslo hacia adelante, lo cual provoca la flexión de la rodilla de manera automática por efecto de la inercia. Además se lleva a cabo una flexión dorsal para corregir la flexión plantar realizada en la preoscilación. Este periodo se observa entre el 60 y 73% del ciclo de la marcha y se caracteriza por la aceleración que realiza la pierna al momento de perder contacto con el suelo (Ver Figura 7).

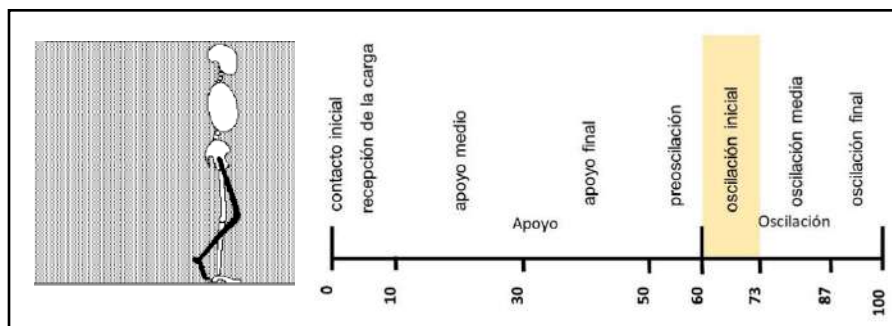


Figura 7. Oscilación inicial

Durante la oscilación media la pierna se desplaza por efecto de la inercia por lo que no se requiere actividad muscular; y se adelanta a la pierna que se encuentra en la fase de apoyo. Esto tiene lugar entre el 73 y el 87% del ciclo de la marcha (Ver Figura 8).

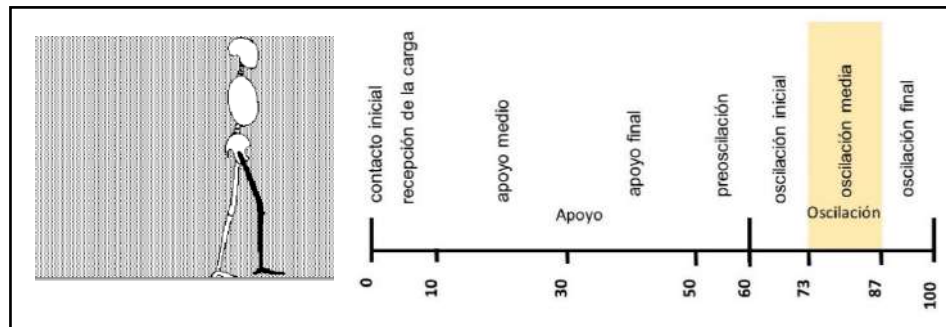


Figura 8. Oscilación media

La Oscilación final se da entre el 87 y 100% del ciclo de la marcha y se caracteriza por la desaceleración de la flexión de cadera, en este periodo el cuádriceps se encarga de la extensión de la rodilla para prepararla para el inicio de la fase de apoyo, y el tobillo se encuentra en posición neutra para preparar al talón para el contacto inicial (Ver Figura 9).

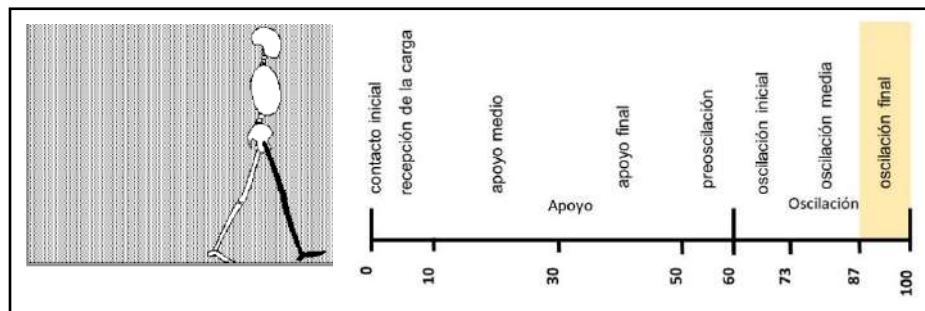


Figura 9. Oscilación final

#### 1.4 Parámetros de análisis de la marcha

Aunque el proceso de la marcha para todos conlleva las mismas fases, son las pequeñas diferencias las que determinan la forma de andar de cada individuo, las cuales pueden ser descritas por parámetros espacio-temporales, cinemático y cinéticos. Los parámetros

espacio-temporales ayudan a describir de manera básica la marcha, detallando duraciones de fases, mediciones de sus longitudes o sus velocidades. Los parámetros cinemáticos permiten conocer los valores de los ángulos articulares, ya sea en el plano frontal, sagital o transversal. En cuanto a los parámetros cinéticos permite conocer sobre cómo actúan los momentos en las articulaciones, así como las fuerzas de reacción del suelo (Villa, Gutiérrez, y Pérez, 2008).

Algunos de los parámetros más comúnmente utilizados para el análisis de la marcha con peso en la espalda, y que fueron de interés para el presente estudio son: fuerza de reacción vertical, longitud de paso y duración del doble apoyo (Al-Khabbaz, Shimada y Hasegawa, 2008; Attwells, Birrell, Hooper, y Mansfield, 2006; Hong, Li, y Fong, 2008; Hong, y Brueggemann, 2000; Knapik, Harman, y Reynolds, 1996; Mademli y Morey, 2015; Ramadan, y Al-Shayea, 2013). Se verá más a fondo cada uno de ellos en el apartado de Variables, en sus definiciones conceptuales y operacionales.

## **1.5 ¿Qué puede modificar la marcha?**

Existen factores que pueden perturbar los patrones de la marcha normal, estos factores pueden ser de origen patológicos, intrínsecos o extrínsecos (Collado, Pascual, Alvarez y Rodríguez, 2003).

### **1.5.1 Factores Patológicos**

Dentro de los factores patológicos existen trastornos neurológicos que afectan el sistema muscular, provocando disminución en la fuerza muscular o paresias, alteraciones de la coordinación entre los músculos agonistas y antagonistas, o afectado por causas funcionales, o la combinación de todas ellas (Covisa, 2008). Estos factores no son de interés para el presente estudio.

### **1.5.2 Factores intrínsecos**

Las diferencias que tiene cada individuo entre sí, que además de hacerlos únicos como personas, también les brinda su peculiar y distintiva manera de andar. Collado, Pascual, Alvarez y Rodríguez (2003), mencionan que factores como la raza donde los aspectos únicos de las culturas y sus respectivas tradiciones, generan en los individuos modificaciones en los patrones de la marcha normal.



Otro factor es el sexo, donde las diferencias propias de hombres y mujeres, como el peso, la altura, el calzado, o incluso el aumento en la lordosis lumbar en la mujer provocada por el peso de los senos; generan distintos parámetros al momento del análisis de la marcha.

Con la edad, se pueden diferenciar cambios muy notables en cada etapa de la vida, donde se pasa de una marcha insegura e inestable en la niñez, que va mejorando conforme al desarrollo y la madurez, para llegar a un patrón de marcha ágil, ligero y flexible; y posteriormente ir perdiendo velocidad, flexibilidad y agilidad como resultado propio de la vejez o por las patologías que llegan con ella.

Del mismo modo, el peso es un factor que modifica los patrones normales de la marcha, ya que por ejemplo las personas obesas o mujeres embarazadas tienen el centro de gravedad adelantado a comparación de una persona de peso normal, como consecuencia del peso extra. Además estas personas no realizan el contacto inicial con el talón, sino utilizando la planta completa del pie; el peso también influye en las fuerzas de reacción del suelo. Asimismo las personas con obesidad tienden a desarrollar deformidades de las extremidades inferiores, lo cual modifica los patrones de la marcha normal.

La talla también provoca modificaciones en los patrones de la marcha ya que la diferencia entre una persona de mayor talla en comparación de una de menor, se encuentra principalmente en la longitud de zancada.

Se pueden describir diferentes formas de andar como puede ser de manera temerosa, tímida o arrogante, las cuales son de acuerdo a la personalidad, un factor más que hace particular la marcha de cada individuo; puesto que una persona segura de sí misma caminará derecha y con paso firme, a diferencia de una persona tímida quien puede dar pasos cautelosos y suaves.

La gente no solo puede distinguir el estado de ánimo a través de los gestos de tu rostro o tu forma de hablar, además se ve reflejado en tu forma de caminar, por ejemplo, al estar triste, es más probable que tengas una marcha lenta y sosegada, a diferencia de cuando uno está feliz o alegre, donde el andar será enérgico.

La fatiga provoca modificaciones en la marcha ya que busca que el gasto de energía del individuo sea mínimo, alentando su andar, no levantando correctamente los pies a cada paso o separando sus pies para aumentar el área de la base de apoyo para no perder el equilibrio. Ninguno de los factores intrínsecos son de interés para este estudio.

### **1.5.3 Factores extrínsecos**

Estos factores no son propios de las persona, sin embargo logran modificar los patrones normales de la marcha del individuo. De acuerdo al terreno donde deambule la persona, su caminar será distinto, considerando tanto su material, como su trayectoria. Dado que en suelos suaves, como el césped o la arena, las fuerzas de reacción con el suelo son menores; a diferencia de si se camina sobre suelos de materiales como el concreto o losas, donde las fuerzas de reacción serán mayores.

Dependiendo si la persona se encuentra en un camino ascendente o descendente también modificará su andar. Normalmente de subida el cuerpo tiende a inclinarse hacia adelante, incluso en pendientes muy inclinadas el centro de gravedad sobrepasará al pie delantero, provocando un desequilibrio que le ayuda a seguir subiendo. En los descensos, la inclinación del cuerpo es hacia atrás y los sujetos utilizan la pierna de apoyo trasera para ir frenado la bajada. En ambos casos la longitud de la zancada se modifica en relación a la pendiente, realizando pasos más cortos, cuanto más inclinada sea la pendiente.

El calzado surge por la necesidad de protección y resguardo del pie, y que a través de los años ha sufrido modificaciones a consecuencia de la moda o de necesidades especiales como el deporte o el medio industrial. Las características del calzado que tienen mayor repercusión en los patrones de la marcha son: su peso, el tipo de tacón, su capacidad de amortiguación, el material del que está hecho, su ajuste y tamaño; ya que pueden tener repercusiones en la longitud y velocidad del paso, la distribución de las cargas, las presiones plantares, en el centro de gravedad, y la duración de la fase de apoyo.

Asimismo, la vestimenta puede llegar a provocar modificaciones de los patrones normales de la marcha, como puede ser por el peso o la talla, al no permitir el correcto desarrollo de los movimientos.

Otro factor extrínseco es la profesión, ya que de acuerdo a esta, las personas realizan ciertos movimientos en sus actividades laborales de manera frecuente y repetitiva, creando su propio estilo de caminar; como puede ser el agraciado y suave andar de una bailarina de ballet, o la rítmica y poderosa marcha de un militar.

Por otro lado, el consumo de sustancias tóxicas, como fármacos, bebidas alcohólicas o drogas, afectan el sistema nervioso, alterando el equilibrio y la coordinación, como resultado de estas condiciones la marcha se ve alterada.

Por último, otro factor que puede modificar la marcha es el transporte de cargas, los cambios que este pueda tener sobre la marcha no solo van a depender del peso que se esté transportando, sino además de cómo se encuentre distribuida la carga y la manera en la que se esté transportando, por ejemplo llevando un peso sobre la cabeza o la espalda; un bolso sobre el hombro a un lado o cruzado; llevando un maletín en una mano o empujando una carretilla o un carrito de mandado (Vázquez, Gómez, Vadillo y Rodríguez, 2003).

Otra manera, y que es de interés para el presente estudio es el transporte de cargas, como al cargar un bolso, empujar un carrito de mandado o con ayuda de una mochila a la espalda.

La mochila es un implemento utilizado con diferentes propósitos, como puede ser escolar, para excursionismo, uso militar, entre otros (Chansirinukor, Wilson, Grimmer, y Dansie, 2001). En este estudio se toma en cuenta el uso de la mochila en el ámbito escolar en niños de 11 y 12 años, utilizando la mochila a la espalda de dos correas, la cual permite transportar con una correa en cada hombro una masa externa en la parte postero-superior del torso (Knapik, Harman, y Reynolds, 1996).

## **2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

¿Qué modificaciones provocan las mochilas a la espalda en la marcha de estudiantes de entre 11 y 12 años?

## 2.1 Variables

Tabla 1. *Variables*

Independientes	Dependientes
Sexo	Fuerza de reacción vertical
Edad	Longitud de paso
Peso	Duración del doble apoyo
Talla	
Peso de la mochila.	

## 2.2 Definición conceptual de las variables

**Peso:** Es la fuerza de un cuerpo obtenida a partir de la aceleración de la gravedad sobre la masa del cuerpo. Su unidad de medida es el Newton (Aguado, 2015).

**Peso de la mochila:** Es la fuerza de la mochila obtenida a partir de la aceleración de la gravedad sobre la masa del cuerpo. Su unidad de medida es el Newton.

**Fuerza de reacción vertical:** Fuerza de reacción durante el apoyo (Villa, Gutiérrez, y Pérez, 2008).

**Longitud de paso:** Desplazamiento anterior del pie desde el contacto inicial con el suelo de un pie hasta el contacto inicial del siguiente (Henry y Hernando, 2013).

**Duración del doble apoyo:** Período donde se presenta un contacto final de los dedos del pie que abandona el suelo, y el inicio del contacto con el talón del otro pie que contacta el suelo (Henry y Hernando, 2013).

## 2.3 Definición operacional de las variables

**Peso:** Se realizará la medición con las plataformas de fuerza.

**Talla:** Se tomará con cinta métrica en la pared. Se mide en milímetros.

**Peso de la mochila:** Se realizara la medición con la plataforma de fuerza.

**Fuerza de reacción vertical:** A partir de los datos registrados por las plataformas de fuerza, se puede analizar en tres partes el primer pico expresa la fuerza ejercida en el impacto del talón. A continuación se puede observar la parte excavada de la curva corresponde al instante en que el pie se encuentra plano sobre el suelo. Por último, el

segundo pico corresponde a la fuerza ejercida para despegar del suelo el pie que va liberarse para avanzar (Ver Figura 10) (Viel, 2002).

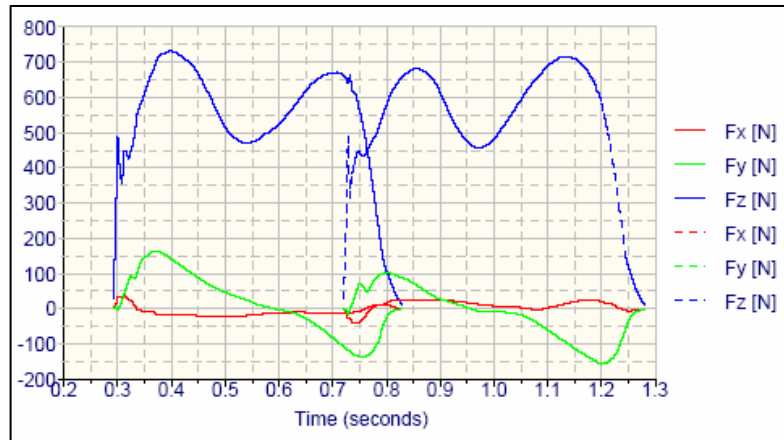


Figura 10. Fuerzas de reacción verticales (azul).

**Longitud de paso:** Se mide la distancia perpendicular al plano frontal del pie que se encuentra posterior y el pie que se encuentre anterior, utilizando el punto medio de la parte más posterior del calcáneo de ambos pies (Ver Figura 11). Se indica con metros.

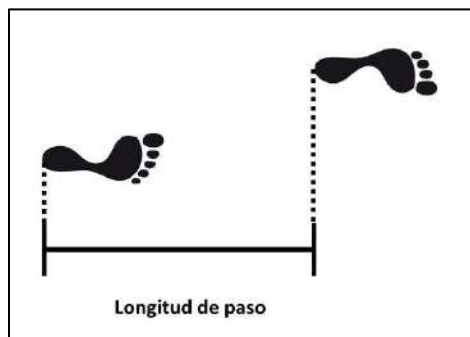


Figura 11. Longitud de paso

**Duración del doble apoyo:** Tiempo transcurrido en el que ambos pies se encuentran en contacto con el suelo. Se indica en segundos.

### **3 JUSTIFICACIÓN**

En la actualidad una parte de los niños en edad escolar utilizan las mochilas a la espalda. Las cargas que los niños y adolescentes transportan causan en algunos casos dolor de espalda, que además pueden continuar hasta la edad adulta (De Paula, Silva, Paschoarelli y Fujii, 2012; Dockrell, Simms y Blake, 2013); además de provocar modificaciones en la postura como compensación al peso extra (Christine, Kistner, Fiebert y Roach, 2012). Considerando que Mc Clenaghan y Gallahue (2001) mencionan la importancia de la calidad y cantidad de las experiencias motrices para el correcto desarrollo de los patrones de movimiento, en este caso la marcha, buscamos conocer con este trabajo las modificaciones que provocan las mochilas a la espalda en la marcha de los niños de entre 11 y 12 años de edad. Para que el educador físico logre evaluar y detectar problemas de tipo motor en el ámbito escolar, y sea capaz de implementar programas para desarrollar adecuadamente las habilidades motoras, como lo es el patrón de la marcha, a través de la educación física y el deporte escolar, para el mantenimiento de la salud, con una perspectiva que integre las etapas sensibles del desarrollo humano.

### **4 HIPÓTESIS**

Las mochilas a la espalda con pesos superiores al 15% del peso corporal pueden provocar cambios en los parámetros espacio temporales y en la fuerza de reacción del suelo vertical en la marcha para compensar el peso externo,

### **5 OBJETIVOS**

#### **5.1 Objetivo General**

Examinar los cambios provocados por el peso de las mochilas a la espalda en los parámetros espacio temporales y en la fuerza de reacción del suelo vertical en la marcha de estudiantes de 11 y 12 años.

#### **5.2 Objetivos Específicos**

Seleccionar muestra para el estudio.

Realizar análisis espacio-temporal y cinético de la marcha en situación natural.

Realizar análisis espacio-temporal y cinético de la marchas con carga externa (mochila a la espalda).

Comparar resultados obtenidos entre el análisis de la marcha en situaciones natural y con carga externa.

## **6 METODOLOGÍA**

### **6.1 Participantes**

#### **6.1.1 Participantes del Estudio**

La muestra fue conformada por 4 estudiantes que actualmente se encuentran cursando el sexto grado de primaria en Mexicali, Baja California, México, de los cuales tres fueron niños (75%) y una niña (25%), con una edad promedio de 11.5 años ( $dt=0.57$ ). Los participantes presentaron una estatura promedio de 1.442 m ( $dt=0.052$ ), y con un peso promedio de 39.67 kg ( $dt=4.43$ ). El peso de las mochilas fue de 7.03 kg ( $dt=1.77$ ).

#### **6.1.2 Criterios de inclusión**

Niños con peso adecuado para su edad y estatura, de entre 11 y 12 años saludables. De acuerdo a lo establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

#### **6.1.3 Criterios de exclusión**

Niños que presentaron alguna discapacidad motriz o lesión los últimos 6 meses.

Niños que presentaron alguna herida reciente o irritación en el área donde se colocaran los marcadores.

Niños sin autorización de sus padres o tutores.

### **6.2 Instrumentos**

Para la obtención de los parámetros espacio-temporales y cinéticos, el análisis del movimiento se llevó a cabo en el Laboratorio de Biomecánica de la Facultad de Deportes, Campus Mexicali, de la Universidad Autónoma de Baja California, localizado en Monclova S/N, Ex Ejido Coahuila, 21360 Mexicali, B.C, México; el cual cuenta con un equipo de captura de movimiento en tres dimensiones *Vicon®*, sistema *BIOVEC™* de *AMTI™* y un dispositivo de electromiografía de superficie *Delsys™*.

### 6.2.1 Sistema *Vicon*®.

El sistema *Vicon*® está integrado por once cámaras de iluminación infrarroja (bonita 10; ver Figura 12) de una velocidad de 250 cuadros por segundo (cps) las cuales se encargan de rastrear los marcadores reflectantes pasivos(ver Figura13); dos cámaras de video (bonita Video 720c; ver Figura 14) con una frecuencia de 120Hz y una resolución de 1280 x 720; y una computadora *DELL*® para la captura de la información a través del software *Nexus 2* (ver Figura 15), a través del cual la identificación de los marcadores se realiza en tiempo real (Viel, 2002). Además, un vernier y cinta métrica flexible para la medición de anchuras, espesores y longitudes de los sujetos.

Fue necesario modificar el Plug-in Gait original de cuerpo completo de *Vicon* dentro de *Nexus 2*, para obtener una nueva Plantilla de Esqueleto, puesto que al realizar la grabación de la marcha con mochila se perdían los datos de los marcadores T10, RBAK, LPSI y RPSI (Ver tabla 3), ya que la mochila impedía que las cámaras los captaran. La modificación realizada al Plug-in Gait de *Vicon* consistió en agregar cuatro nuevos marcadores para tronco (ch1, ch2, ch3 y ch4) y otros cuatro para cadera (hip1, hip2, hip3 y hip4).



Figura 12. Bonita 10





Figura 13. Marcador Reflectante pasivo



Figura 14. Bonita Video 720c

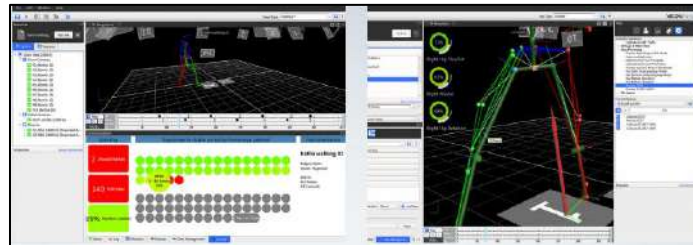


Figura 15. Software Nexus 2

### 6.2.2 Sistema BIOVEC™ de AMTI™

El sistema BIOVEC™ de AMTI™ está integrado por 2 plataformas de fuerza modelo OR6-6 (Ver figura 17) con una capacidad de 2000 lb con una frecuencia de 1000 hz en Fz y de 550 Hz para Fx y Fy, amplificador y el software BioAnalysis™.



Figura 16. Plataformas de fuerza modelo OR6-6 de AMTI™

### 6.3 Procedimientos

Se solicitó el permiso de la dirección de la escuela Primaria para poder tener el contacto con los padres de familia. A continuación, los participantes y sus padres o tutores fueron informados acerca de los propósitos del estudio y los procedimientos a realizar para obtener su autorización. Posteriormente, los datos de peso y talla de los niños, y el peso de las mochilas fueron medidos en la escuela. En particular, las mochilas fueron pesadas con el contenido habitual de un día de clases, el peso de todas las mochilas se promedió para obtener un valor que se utilizó para las pruebas posteriores.

Los niños y su padre o tutor fueron citados en el Laboratorio de Biomecánica en sesión única de 1 hora, dos niños cada día. Se les solicitó asistir con calzado deportivo obscuro y sin reflectantes, en caso contrario se cubrió cualquier diseño que afectara el estudio. Ya en el Laboratorio, les proporcionó la vestimenta adecuada, la cual consiste en camiseta sin mangas, pantalón corto de Lycra color negro sin diseños reflectantes para evitar obstrucción o movimiento de los marcadores.

Al iniciar se tomaron las medidas de anchura, espesor y longitudes del sujeto de acuerdo a lo establecido por la guía del producto Plug-in Gait de *Vicon®* (Ver tabla 2) (Vicon Motion Systems, 2010).

Tabla 2. *Medidas de anchura, espesor y longitudes*

Medida	Descripción
Parte superior del cuerpo	
Anchura del codo (izquierda y derecha)	

	Anchura a lo largo del eje de flexión, aproximadamente entre el epicóndilo medial y lateral del humero.
Espesor de la mano (izquierda y derecha) Desplazamiento del hombro (izquierda y derecha)	Espesor anterior/posterior entre las superficies palmar y dorsal de la mano. Desplazamiento vertical desde la base del acromion al centro de la articulación del hombro.
Anchura de la muñeca (izquierda y derecha)	Espesor anterior/posterior de la muñeca.
Parte inferior del cuerpo	
Anchura del tobillo. (izquierda y derecha)	Distancia medio lateral del maléolo. Con el participante de pie, si es posible.
Anchura de la rodilla (izquierda y derecha)	Distancia medio lateral de la rodilla. Con el participante de pie, si es posible.
Longitud de Pierna (izquierda y derecha)	Distancia entre la espina iliaca antero superior y el maléolo interno, a través de la articulación de la rodilla.

Se capturaron las mediciones anteriores en el software *Nexus 2*, después se colocaron los marcadores reflectantes pasivos en el participante.

Los marcadores reflectantes pasivos deben ser colocados, de ser posible, directamente en la piel. La localización de los marcadores será de acuerdo a lo establecido por la guía del producto Plug-in Gait de *Vicon®* (Ver tabla 3) (Mademli y Morey, 2015; Vicon Motion Systems, 2010), y al nuevo modelo para tronco y cadera creado en el laboratorio.

Tabla 3. *Marcadores, descripción y localización*

Marcador	Descripción	Localización
Cabeza LFHD	Frente izquierda	Aproximadamente sobre el temporal izquierdo.
RFHD	Frente derecha	Aproximadamente sobre el temporal derecho.

---

LBHD	Cabeza posterior izquierda	Parte trasera izquierda de la cabeza, formando aproximadamente un plano horizontal con los marcadores frontales.
RBHD	Cabeza posterior derecha	Parte trasera derecha de la cabeza, formando aproximadamente un plano horizontal con los marcadores frontales.
Tronco C7	Séptima vértebra cervical	Apófisis espinosa de la 7a vértebra cervical.
T10	Decima vértebra dorsal	Apófisis espinosa de la 10a vértebra dorsal.
CLAV	Unión clavicular	Escotadura yugular o supraesternal.
STRN	Esternón	Apófisis xifoides del esternón.
RBAK	Espalda derecha	Mitad de la escapula derecha. No existe en el lado izquierdo. Es para mejorar el reconocimiento automático.
ch1	Pecho	Aproximadamente segundo espacio intercostal izquierdo.
ch2	Pecho	Aproximadamente tercer espacio intercostal izquierdo.
ch3	Pecho	Aproximadamente cuarto espacio intercostal derecho.
ch4	Pecho	Aproximadamente quinto espacio intercostal derecho.
LSHO, RSHO	Hombro	En la articulación acromioclavicular.
LUPA, RUPA	Brazo	

---

---

		En el tercio superior (LUPA) e inferior (RUPA) del lateral del brazo. El izquierdo es asimétrico en relación al derecho.
LELB, RELB	Codo	En el epicóndilo lateral (aproximadamente en el eje del codo).
LFRA, RFRA	Antebrazo	En el tercio inferior (LFRA) y superior (RFRA) del lateral del antebrazo. El izquierdo es asimétrico en relación al derecho.
LWRA, RWRA	Muñeca A	Barra muñeca lado del pulgar.
LWRB, RWRB	Muñeca B	Barra muñeca lado del meñique.
LFIN, RFIN	Dedos	En el dorso de la mano inmediatamente proximal a la cabeza del 2º metacarpiano.
Pelvis (la letra L o R indican el lado izquierdo (left) o derecho (right))		
LASI, RASI	Espina ilíaca antero superior	Espina ilíaca antero superior.
LPSI, RPSI	Espina ilíaca postero superior	Espina ilíaca postero superior.
hip1	Línea de cadera superior	Línea de cadera superior lateral derecha.
hip2	Línea de cadera inferior	Línea de cadera inferior medial derecha.
hip3	Línea de cadera superior	Línea de cadera superior medial izquierda.
hip4	Línea de cadera inferior	Línea de cadera inferior lateral izquierda.
Pierna (la letra L o R indican el lado izquierdo (left) o derecho (right))		
LKNE, RKNE	Rodilla	Epicóndilo lateral de la rodilla.
LTHI, RTHI	Muslo	

---

---

		En el tercio inferior (LTHI) y superior (RTHI) del lateral del muslo en línea con los centros de las articulaciones de la cadera y la rodilla. El izquierdo es asimétrico en relación al derecho.
LANK, RANK	Tobillo	En el maléolo lateral
LTIB, RTIB	Tibia	En el tercio inferior (LTIB) y superior (RTIB) del lateral del peroné. El izquierdo es asimétrico en relación al derecho.
Pie (la letra L o R indican el lado izquierdo (left) o derecho (right)) LTOE, RTOE	Dedos del pie	Sobre la cabeza del segundo metatarsiano.
LHEE, RHEE	Talón	Cara posterior del calcáneo a la misma altura que LTOE y RTOE.

---

Cada participante realizó dos pruebas en la misma sesión: la primera prueba consistió en la grabación de la marcha sin mochila, y la segunda prueba en la grabación de la marcha con mochila. Se utilizó la misma mochila para todos los participantes, la cual fue preparada con el peso promedio calculado anteriormente, y se colocó a la altura de la cintura pélvica de cada participante (Attwells, Birrell, Hooper y Mansfield, 2006; Dockrell, Simms y Blake, 2013; Knapik, Harman, y Reynolds, 1996).

Una vez preparado el participante se le explicó y demostró cómo realizar la trayectoria de la marcha para cada una de las pruebas, donde se le pidió caminar en línea recta de manera natural, pasando por las dos plataformas de fuerza colocadas en el centro del laboratorio, una al frente de la otra, para lograr que cada pie toque una plataforma conforme avanza.

Antes de comenzar la prueba de la marcha sin mochila y su captura de datos, se le permitió al sujeto familiarizarse con el propósito de la prueba y el equipo. Una vez listo el participante comenzó la prueba, la cual solo fue válida si el sujeto, sin modificar su

marcha natural, consiguiera pisar cada plataforma de fuerza con la planta completa de un solo pie a la vez (ver Figura 18). Se realizaron cuantas repeticiones fueron necesarias para obtener tres pruebas válidas.

Para la prueba con mochila, el participante realizó el mismo protocolo antes descrito portando la mochila.

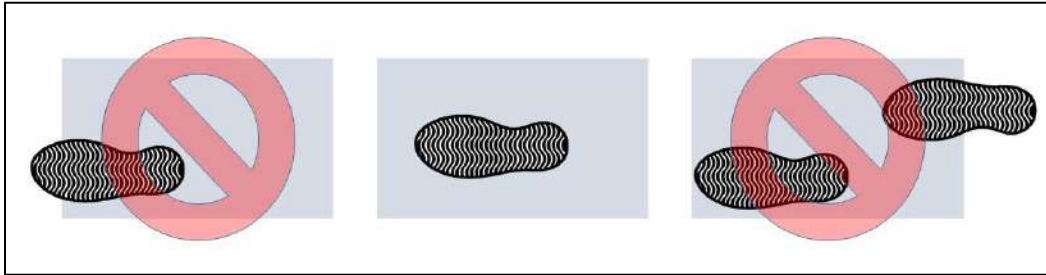


Figura 17. Indicación para apoyos válidos en la plataforma.

Los datos fueron analizados con el software *SPSS Statistics 22*. Para evaluar la normalidad de los datos se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk, posteriormente se llevó a cabo la comparación de las variables obtenidas en la marcha sin mochila, con las variables obtenidas durante la marcha con mochila con la prueba T de Student para muestras relacionadas.

## 7 RESULTADOS

El peso de la mochila equivalió en promedio al 17.82 % del peso corporal de la muestra. La mayoría de las variables mostraron una distribución normal ( $p > 0.05$ ) a excepción del Valle medio sin mochila, pierna izquierda ( $p = 0.046$ ) (Ver tabla 4).

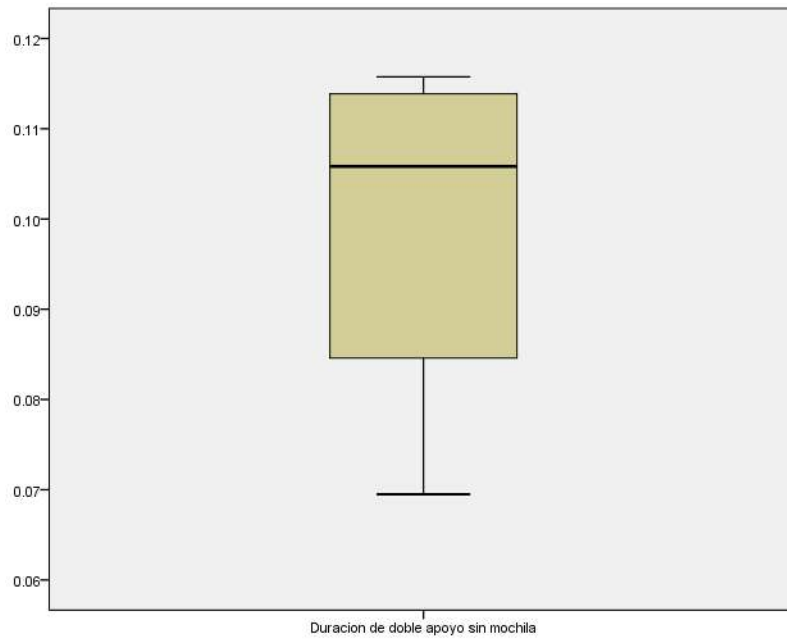
Tabla 4. Prueba de normalidad de las variables.

<b>Pruebas de normalidad</b>			
<b>SIN MOCHILA</b>	<b>Shapiro-Wilk Sig.</b>	<b>CON MOCHILA</b>	<b>Shapiro-Wilk Sig.</b>
Duración de doble apoyo sin mochila	.288	Duración de doble apoyo con mochila	.640
Longitud de paso sin mochila	.658	Longitud de paso con mochila	.172
Impacto de talón sin mochila, pierna derecha	.704	Impacto de talón con mochila, pierna derecha	.989
Valle medio sin mochila, pierna derecha	.913	Valle medio con mochila, pierna derecha	.715
Propulsión sin mochila, pierna derecha	.429	Propulsión con mochila, pierna derecha	.109
Impacto de talón sin mochila, pierna izquierda	.585	Impacto de talón con mochila, pierna izquierda	.898
Valle medio sin mochila, pierna izquierda	.046	Valle medio con mochila, pierna izquierda	.584
Propulsión sin mochila, pierna izquierda	.405	Propulsión con mochila, pierna izquierda	.305

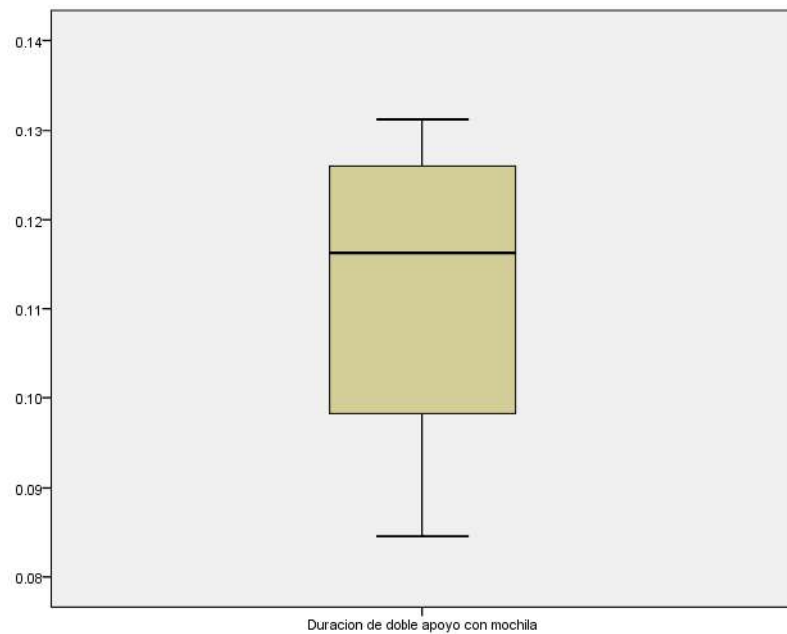
### 7.1 Duración de doble apoyo

La duración del doble apoyo para la prueba de marcha sin mochila se obtuvo una media de 0.09922 s ( $dt = .02097$ ,  $p = .288$ ) (Ver figuras 18 y 20). Para la prueba con mochila la media de la duración fue de 0.11210 s ( $dt = .02001$ ,  $p = .640$ ) (Ver figuras 19 y 21).





*Figura 18.* Duración de doble apoyo sin mochila, media y desviación estándar.



*Figura 19.* Duración de doble apoyo con mochila, media y desviación estándar.

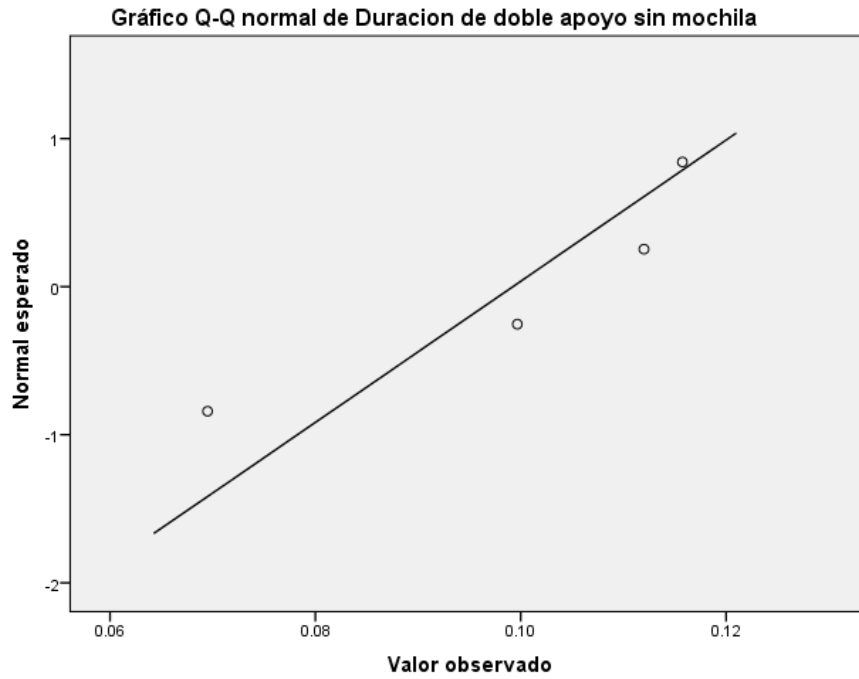


Figura 20. Duración de doble apoyo sin mochila, gráfica de normalidad.

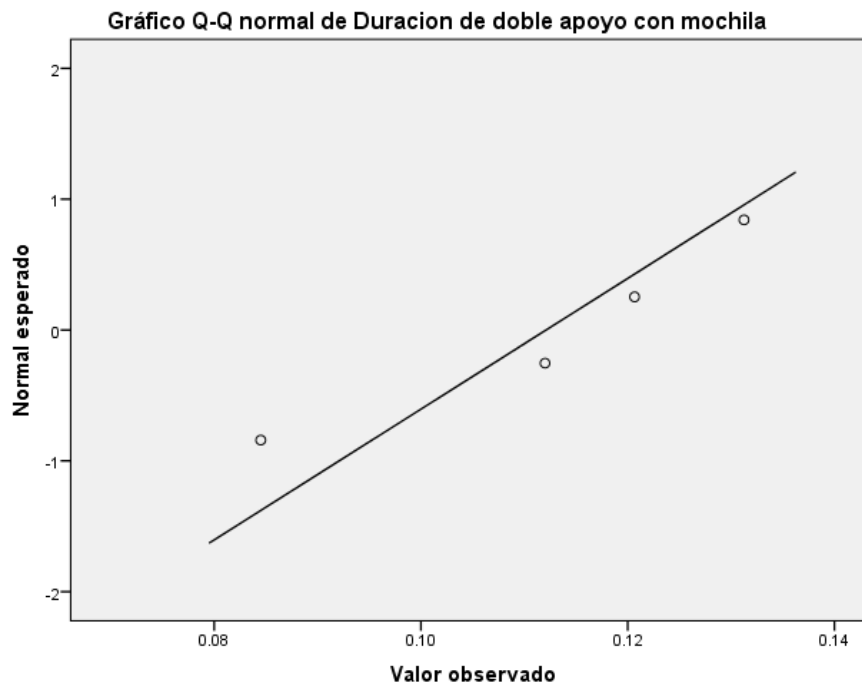
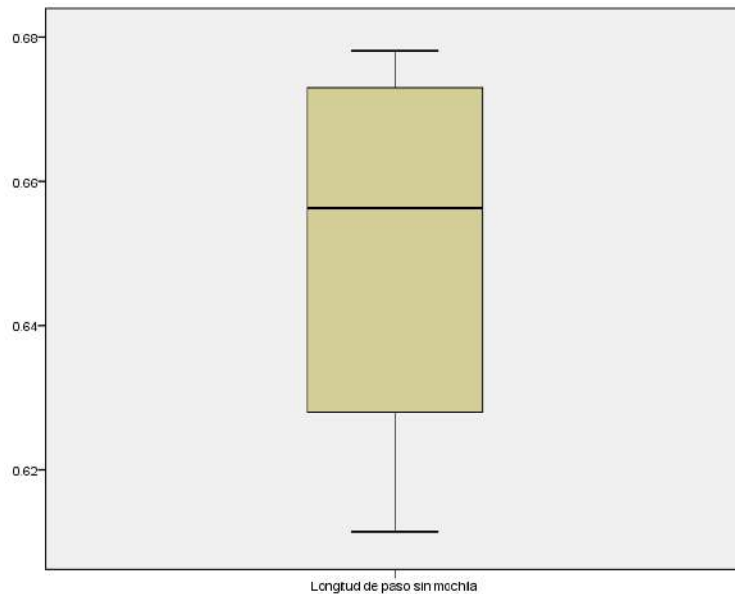


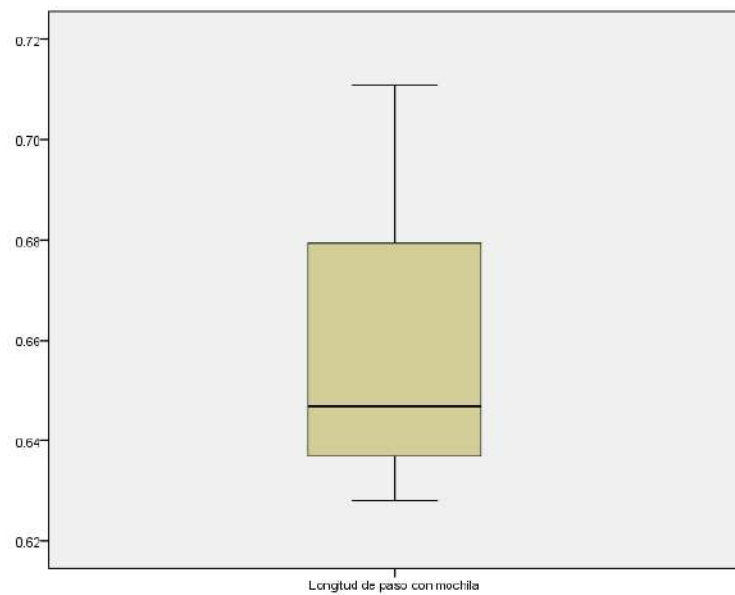
Figura 21. Duración de doble apoyo con mochila, gráfica de normalidad.

## 7.2 Longitud de paso

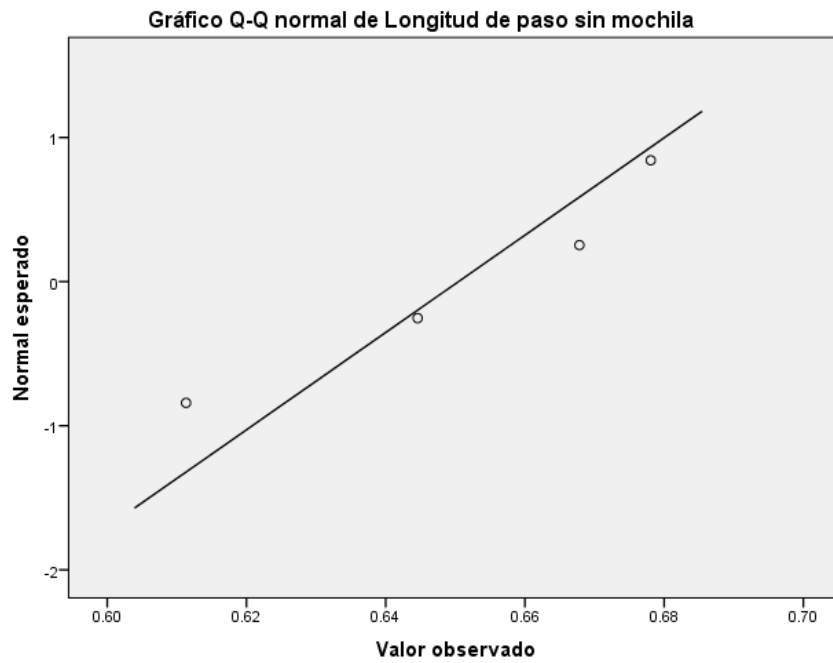
Al analizar la longitud de paso para la prueba de la marcha sin mochila se registró una media de 0.65045 m ( $dt=.02961$ ,  $p=.658$ ) (Ver figuras 22 y 24). Y para la prueba con mochila la media fue de 0.65819 m ( $dt=.036249$ ,  $p=.172$ ) (Ver figuras 23 y 25).



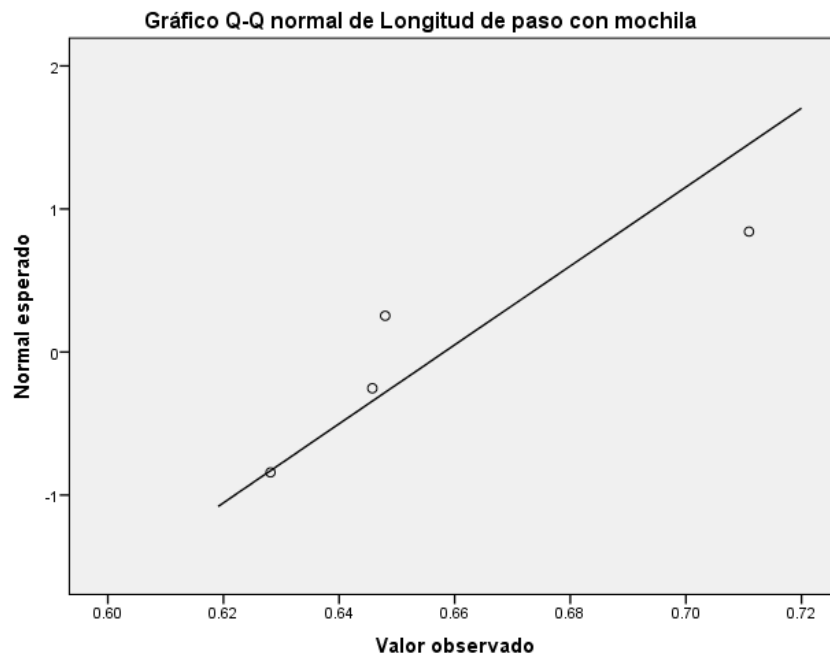
*Figura 22.* Longitud de paso sin mochila, media y desviación estándar.



*Figura 23.* Longitud de paso con mochila, media y desviación estándar.



*Figura 24.* Longitud de paso sin mochila, gráfica de normalidad.



*Figura 25.* Longitud de paso con mochila, gráfica de normalidad.

### 7.3 Impacto de talón, pierna derecha e izquierda.

La fuerza ejercida durante el impacto del talón se observa en el primer pico de la gráfica de fuerza de reacción vertical (Ver figuras 50-57). Cabe resaltar que las fuerzas de reacción verticales fueron normalizadas con respecto al peso de los participantes (masa por gravedad), se obtuvieron los siguientes resultados. Al analizar la pierna derecha en la prueba sin mochila se obtuvo una media de 1.25219 veces la masa corporal ( $dt=.17096$ ,  $p=.704$ ) (Ver figuras 26 y 28). Igualmente durante la prueba sin mochila pero para la pierna izquierda se alcanzó una media de 1.20460 veces la masa corporal ( $dt=.07105$ ,  $p=.585$ ) (Ver figuras 27 y 29).

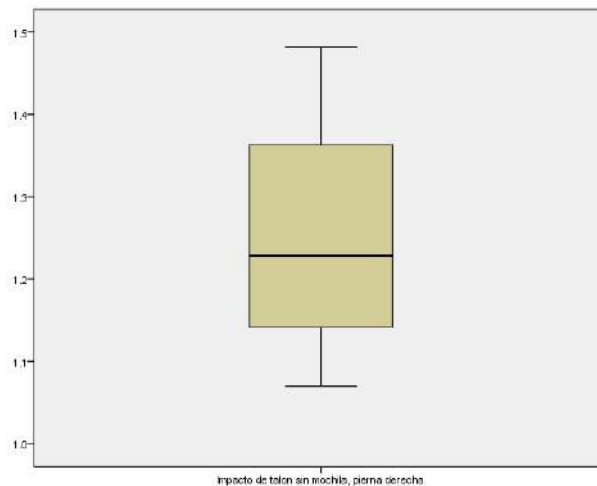


Figura 26. Impacto de talón pierna derecha sin mochila, media y desviación estándar.

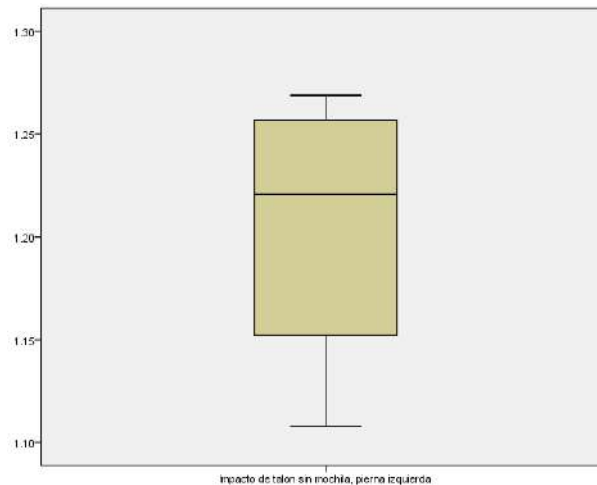


Figura 27. Impacto de talón pierna izquierda sin mochila, media y desviación estándar.

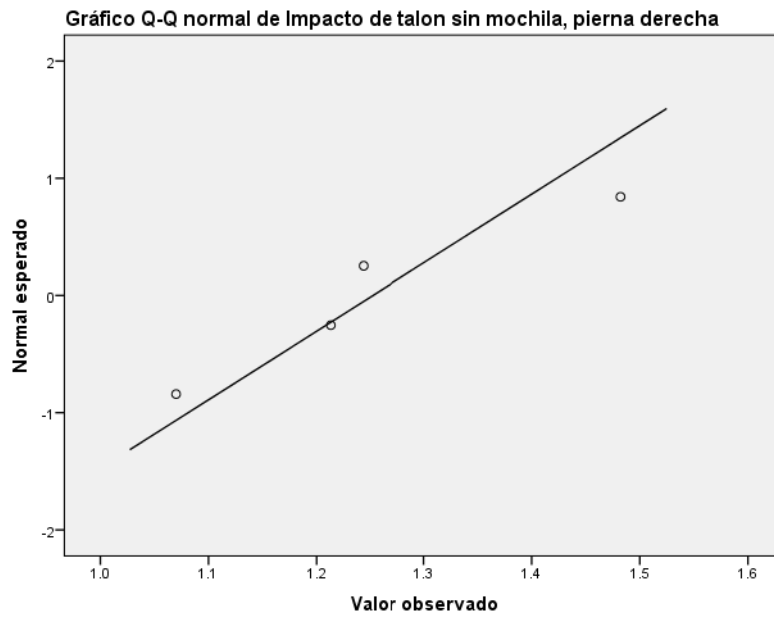


Figura 28. Impacto de talón pierna derecha sin mochila, gráfica de normalidad.

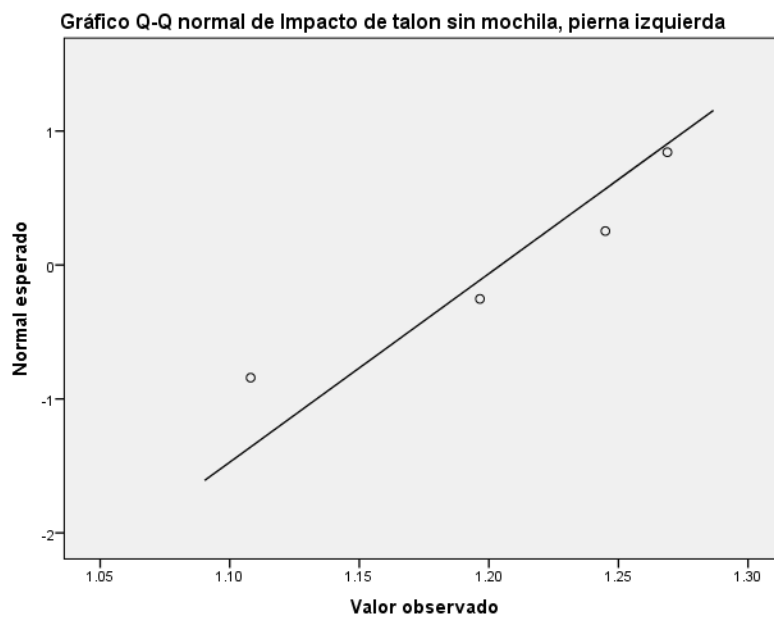
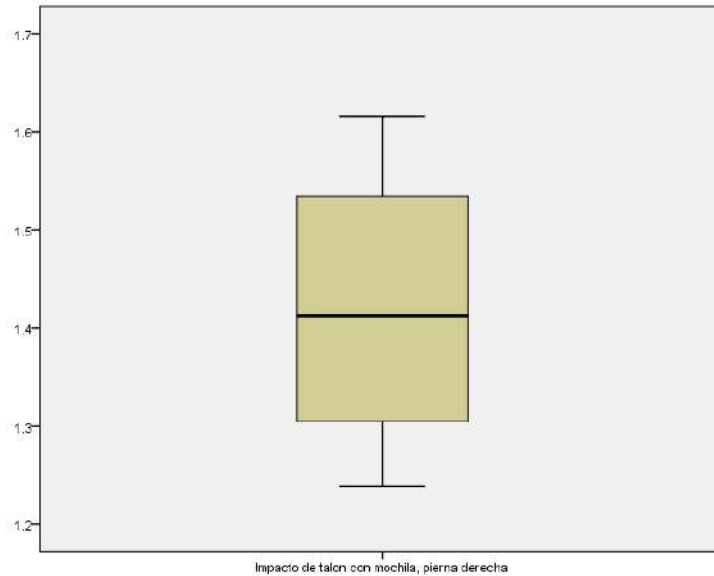
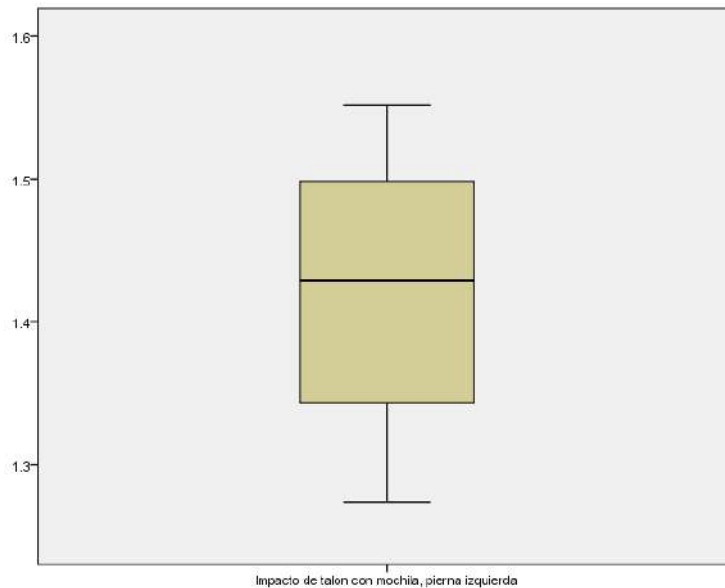


Figura 29. Impacto de talón pierna izquierda sin mochila, gráfica de normalidad.

Durante la prueba con mochila la media del impacto de talón de la pierna derecha fue de 1.41969 veces la masa corporal ( $dt=.15788$ ,  $p=.989$ ) (Ver figuras 30 y 32). Mientras que la de la pierna izquierda con mochila fue de 1.42092 veces la masa corporal ( $dt=.11463$ ,  $p=.898$ ) (Ver figuras 31 y 33).



*Figura 30.* Impacto de talón pierna derecha con mochila, media y desviación estándar.



*Figura 31.* Impacto de talón pierna izquierda con mochila, media y desviación estándar.

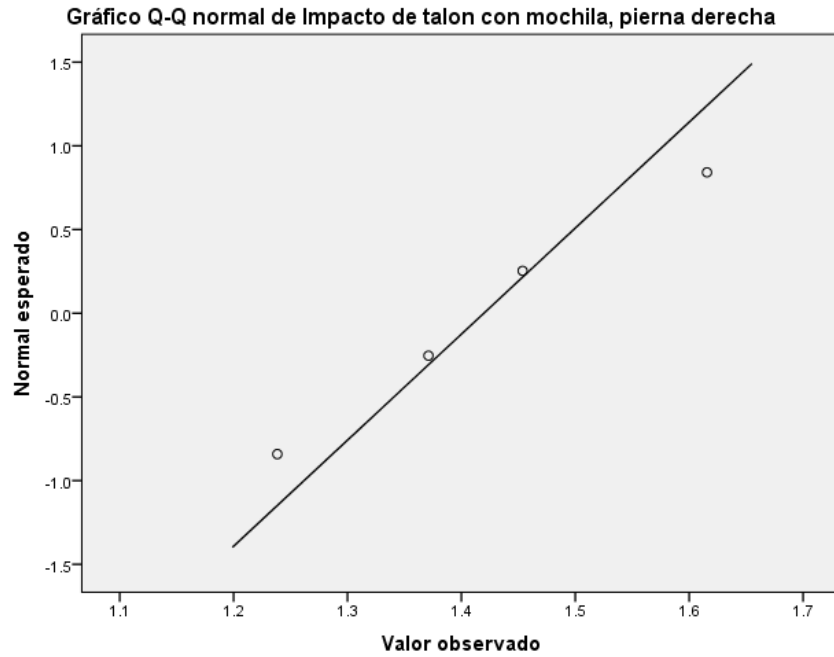


Figura 32. Impacto de talón pierna derecha con mochila, gráfica de normalidad.

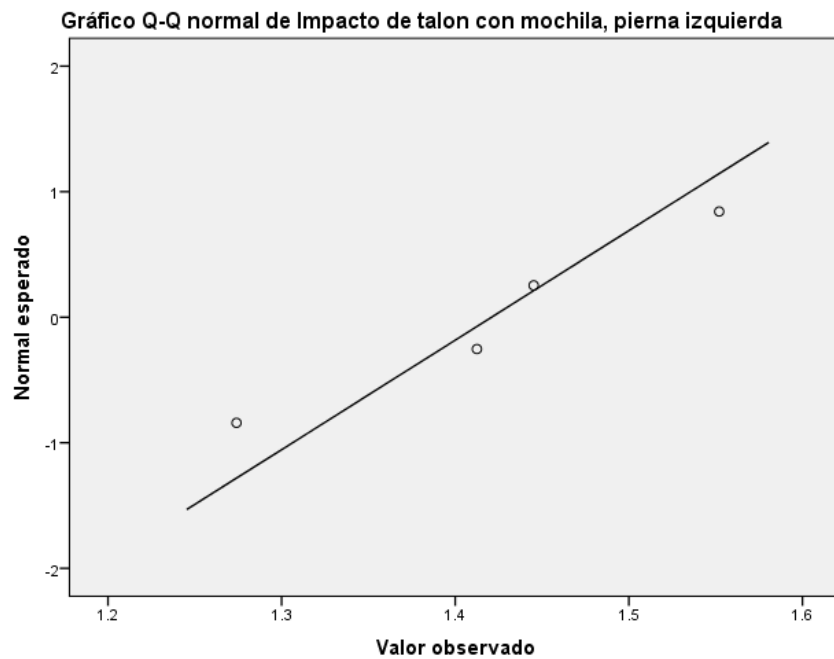
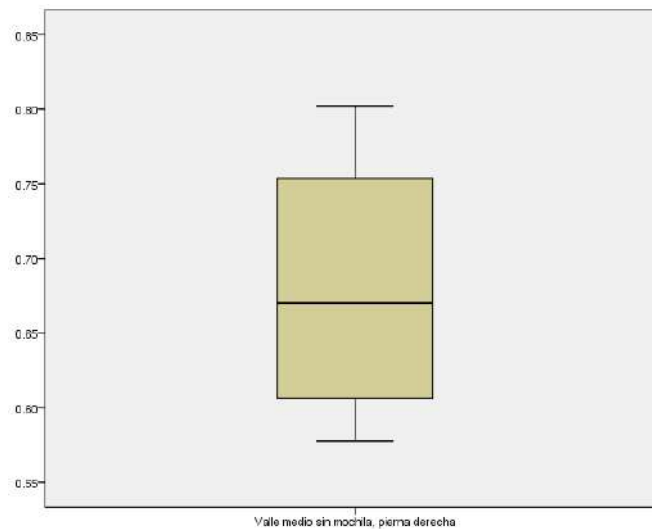


Figura 33. Impacto de talón pierna izquierda con mochila, gráfica de normalidad.

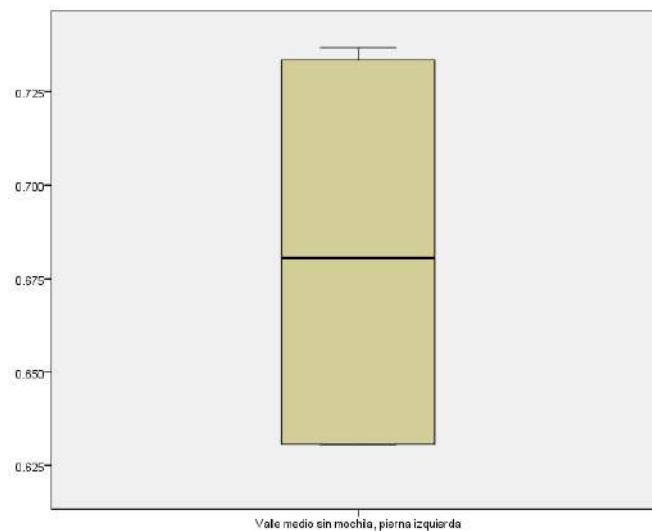


#### 7.4 Valle medio, pierna derecha e izquierda.

El valle medio es la curva excavada que se puede observar entre los dos picos de la gráfica de fuerza de reacción (Ver figuras 50-57), esta nos indica el instante en que el pie se encuentra plano sobre el suelo. La media registrada durante la prueba sin mochila para el pie derecho fue de 0.68008 veces la masa corporal ( $dt=.09667$ ,  $p=.913$ ) (Ver figuras 34 y 36). Y para el pie izquierdo la media obtenida en la misma prueba fue de 0.68212 veces la masa corporal ( $dt=.05935$ ,  $p=.046$ ) (Ver figuras 35 y 37).



*Figura 34.* Valle medio pierna derecha sin mochila, media y desviación estándar.



*Figura 35.* Valle medio pierna izquierda sin mochila, media y desviación estándar.

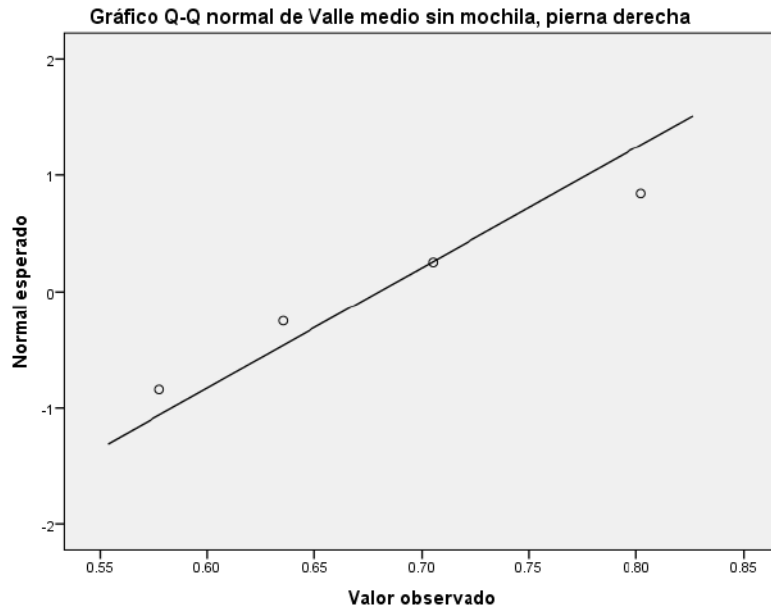


Figura 36. Valle medio pierna derecha sin mochila, gráfica de normalidad.

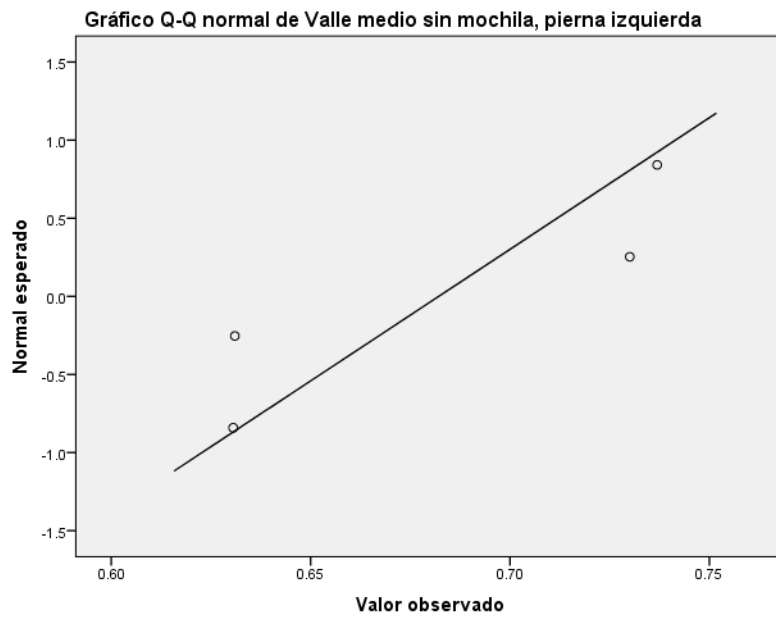
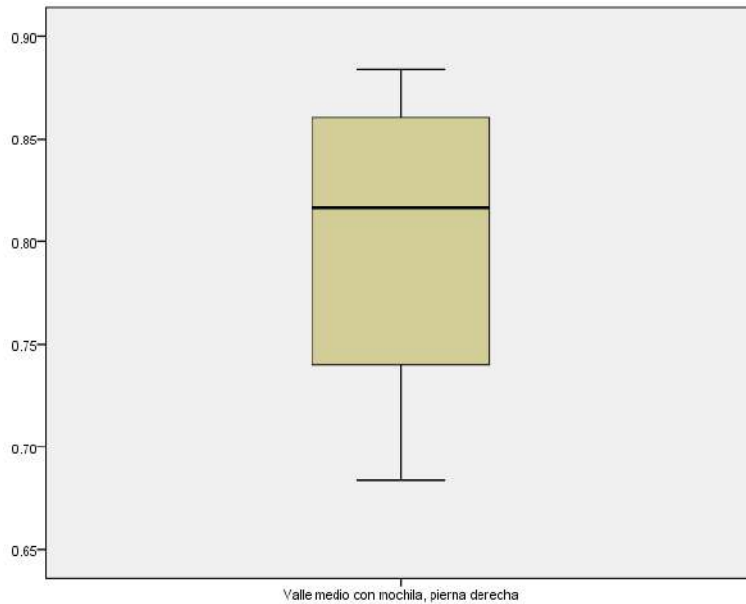
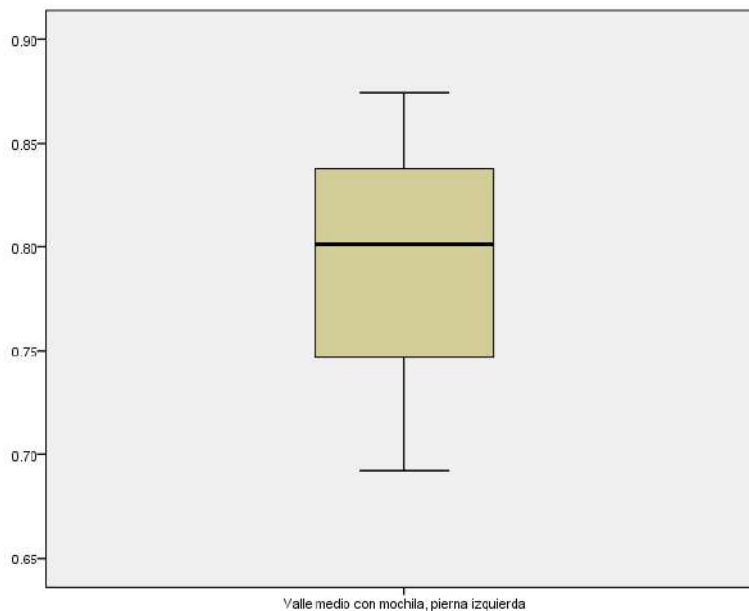


Figura 37. Valle medio pierna izquierda sin mochila, gráfica de normalidad.

Los resultados de las medias en la prueba con mochila para el valle medio en la pierna derecha se registró 0.8002 veces la masa corporal ( $dt=.0855$ ,  $p=.715$ ) (Ver figuras 38 y 40) y 0.79222 veces la masa corporal ( $dt=.07493$ ,  $p=.584$ ) para la pierna izquierda (Ver figuras 39 y 41).



*Figura 38.* Valle medio pierna derecha con mochila, media y desviación estándar.



*Figura 39.* Valle medio pierna izquierda con mochila, media y desviación estándar.

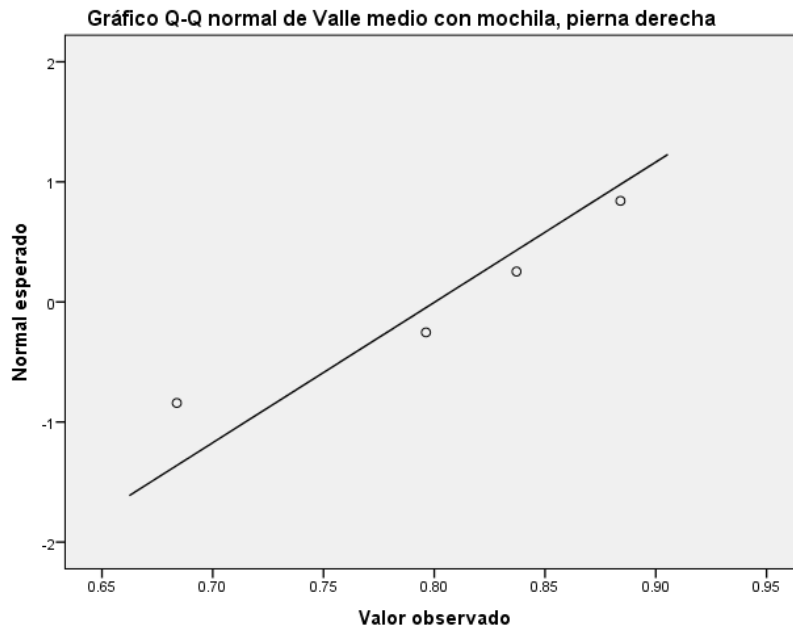


Figura 40. Valle medio pierna derecha con mochila, gráfica de normalidad.

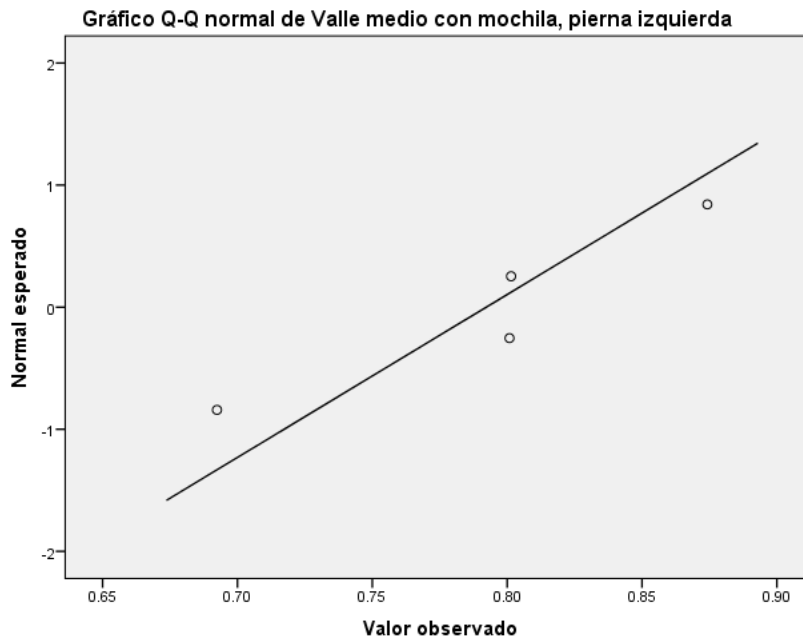
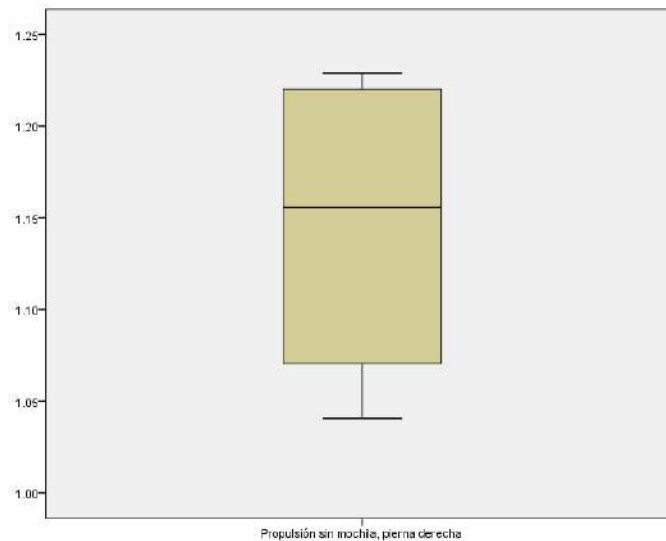


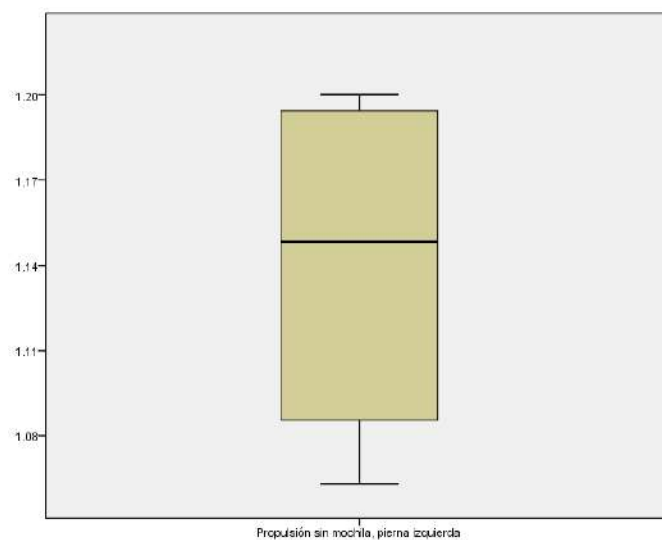
Figura 41. Valle medio pierna izquierda con mochila, gráfica de normalidad.

## 7.5 Propulsión, pierna derecha e izquierda.

El último pico de la gráfica de la fuerza de reacción vertical corresponde a la fuerza ejercida para despegar del suelo el pie que va liberarse para avanzar (Ver figuras 50-57). Los datos arrojados en la prueba sin mochila para la pierna derecha fue 1.14527 veces la masa corporal ( $dt=.08999$ ,  $p=.429$ ) (Ver figuras 42 y 44) y para la propulsión de la pierna izquierda fue 1.13992 veces la masa corporal ( $dt=.06569$ ,  $p=.405$ ) (Ver figuras 43 y 45).



*Figura 42.* Propulsión pierna derecha sin mochila, media y desviación estándar.



*Figura 43.* Propulsión pierna izquierda sin mochila, media y desviación estándar.

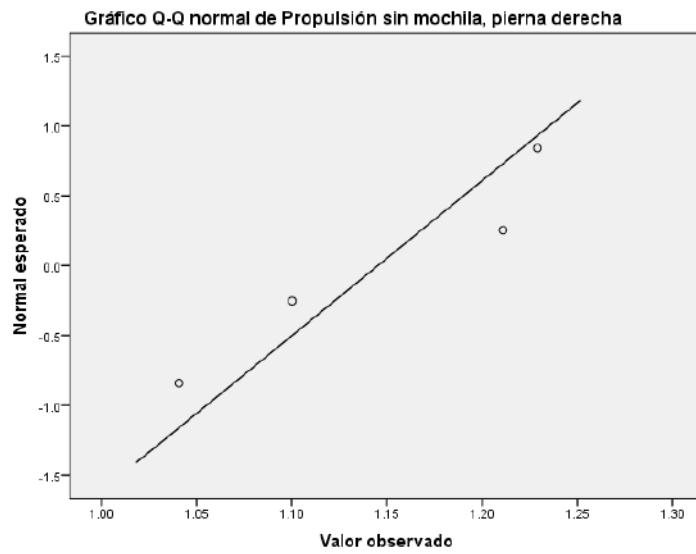


Figura 44. Propulsión pierna derecha sin mochila, gráfica de normalidad.

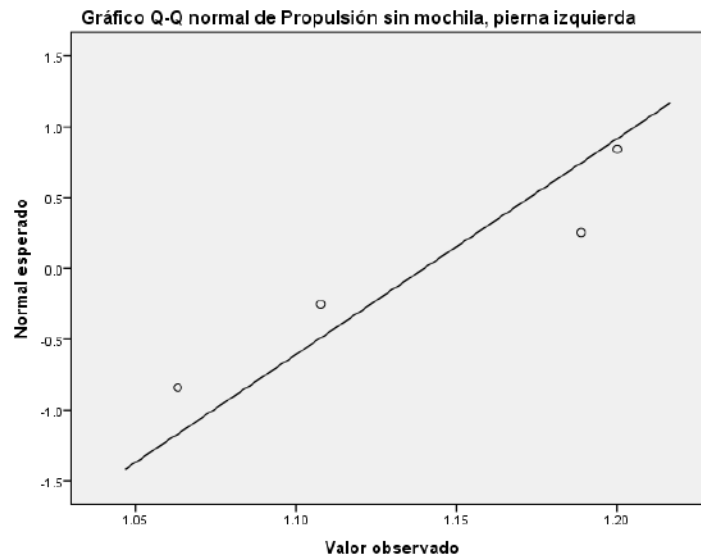
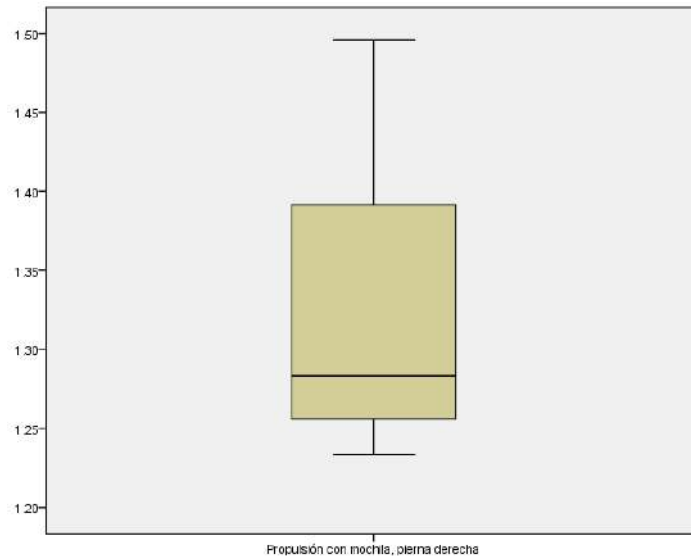
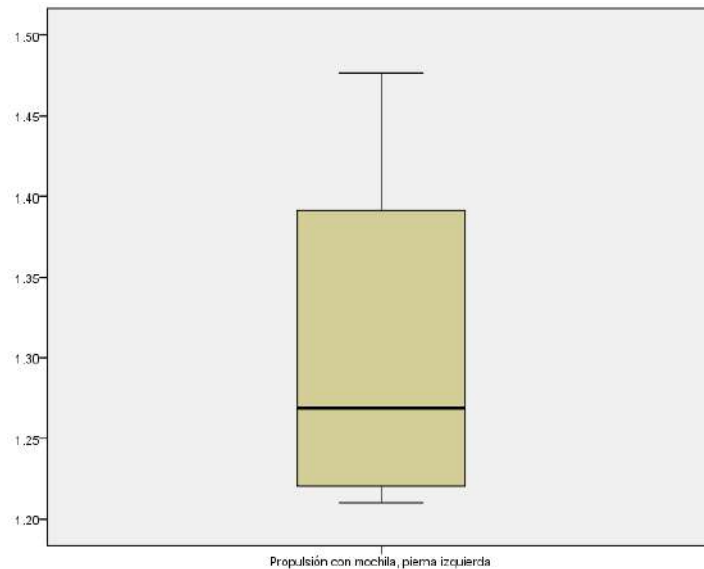


Figura 45. Propulsión pierna izquierda sin mochila, gráfica de normalidad.

Los datos de la fuerza de propulsión en la prueba con mochila fueron las siguientes. Para la pierna derecha la media fue de 1.32387 veces la masa corporal ( $dt=.11700$ ,  $p=.109$ ) (Ver figuras 46 y 48), mientras que para pierna izquierda se obtuvo 1.30596 veces la masa corporal ( $dt=.12103$ ,  $p=.305$ ) (Ver figuras 47 y 49).



*Figura 46.* Propulsión pierna derecha con mochila, media y desviación estándar.



*Figura 47.* Propulsión pierna izquierda con mochila, media y desviación estándar.

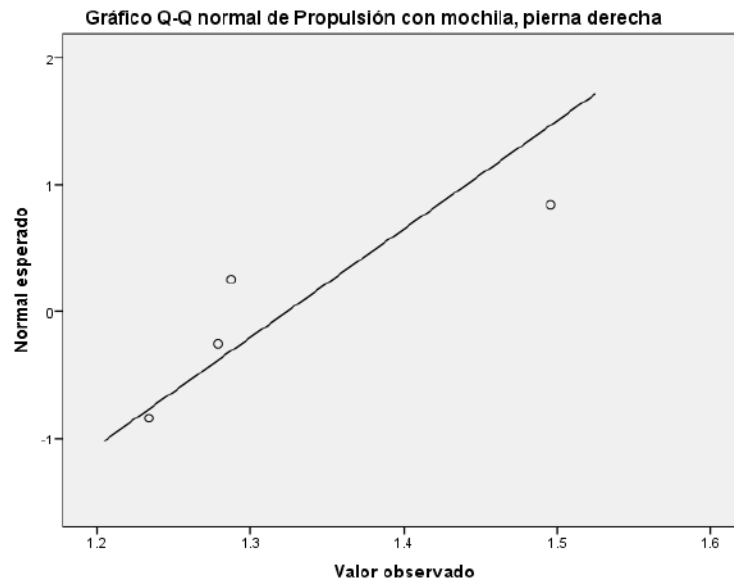


Figura 48. Propulsión pierna derecha con mochila, gráfica de normalidad.

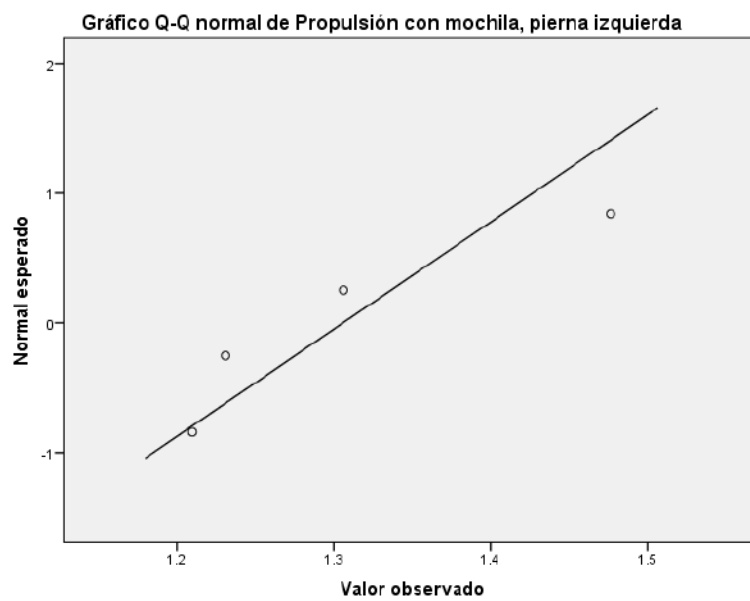


Figura 49. Propulsión pierna izquierda con mochila, gráfica de normalidad.



A continuación se muestran las gráficas de los resultados de cada uno de los sujetos de la muestra, en las pruebas realizadas sin mochila y posteriormente con mochila. En escala de azules aparecen los datos del pie derecho y en escala de naranjas son los datos del pie izquierdo.

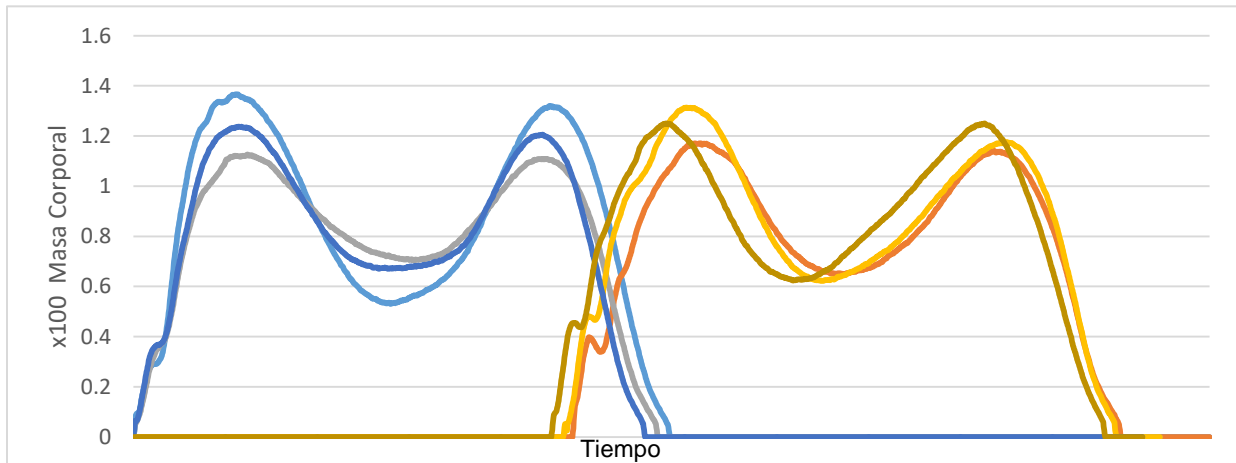


Figura 50. Fuerza de reacción vertical en las tres pruebas sin mochila, pierna derecha (escalas azules); pierna izquierda (escalas naranjas). Sujeto 1.

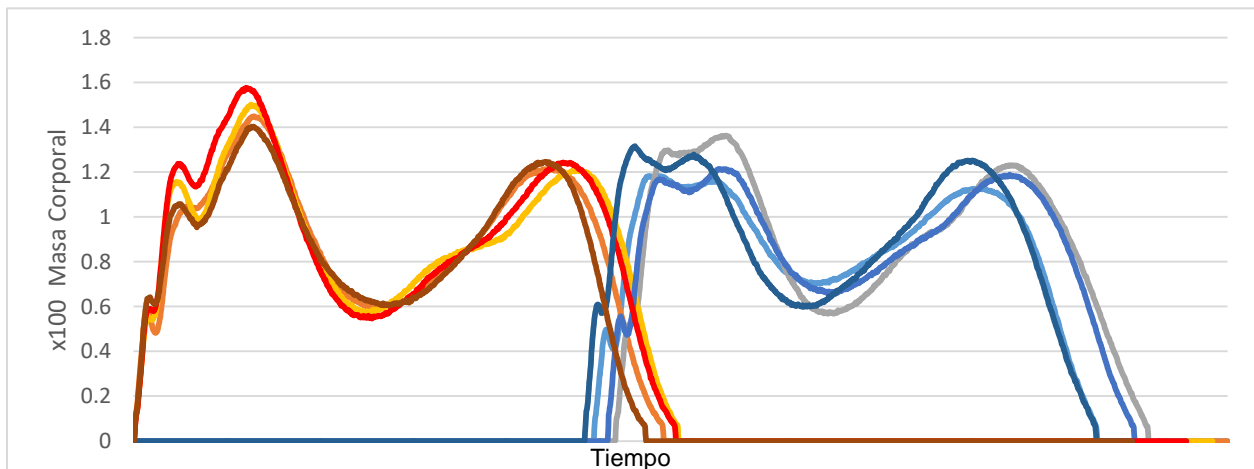


Figura 51. Fuerza de reacción vertical en las cuatro pruebas sin mochila, pierna derecha (escalas azules); pierna izquierda (escalas naranjas). Sujeto 2.

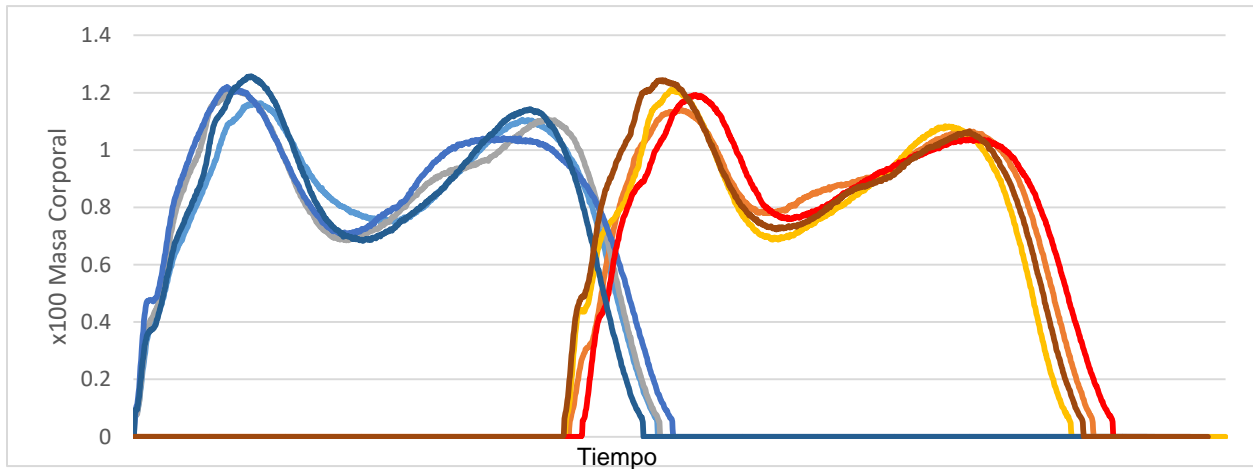


Figura 52. Fuerza de reacción vertical en las cuatro pruebas sin mochila, pierna derecha (escalas azules); pierna izquierda (escalas naranjas). Sujeto 3.

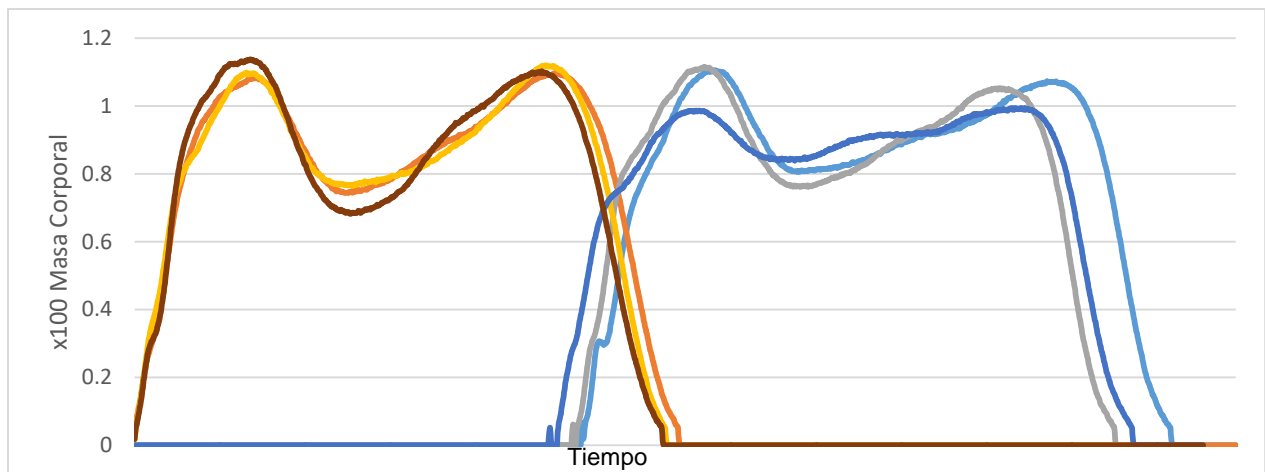


Figura 53. Fuerza de reacción vertical en las tres pruebas sin mochila, pierna derecha (escalas azules); pierna izquierda (escalas naranjas). Sujeto 4.

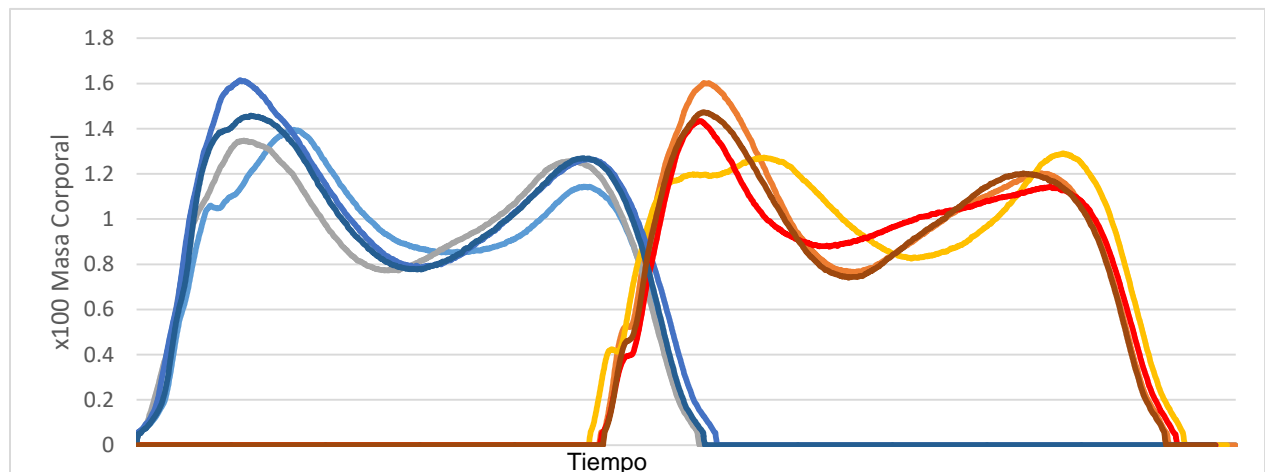


Figura 54. Fuerza de reacción vertical en las cuatro pruebas con mochila, pierna derecha (escalas azules); pierna izquierda (escalas naranjas). Sujeto 1.

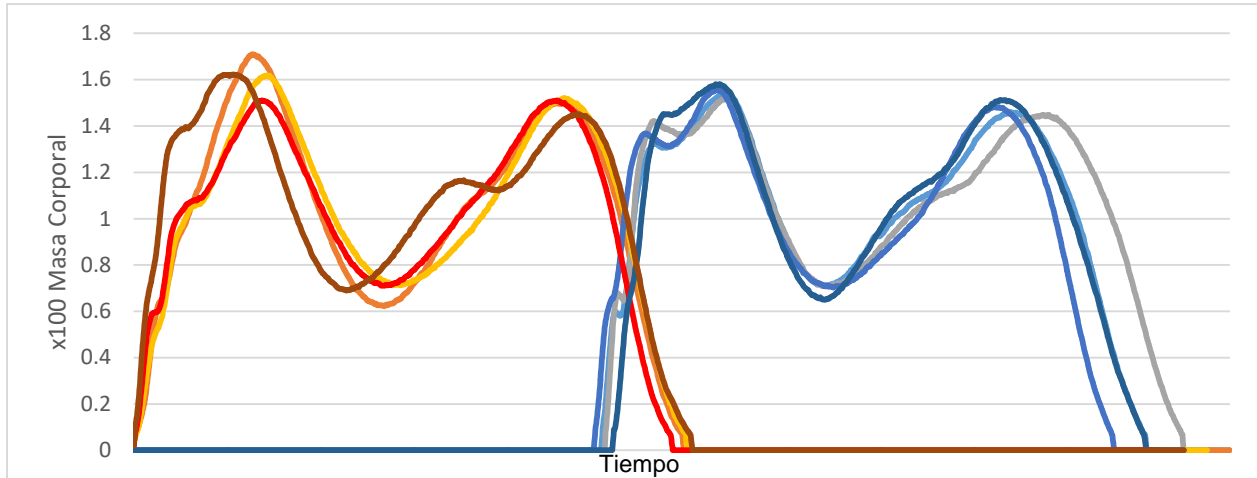


Figura 56. . Fuerza de reacción vertical en las cuatro pruebas con mochila, pierna derecha (escalas azules); pierna izquierda (escalas naranjas). Sujeto 2.

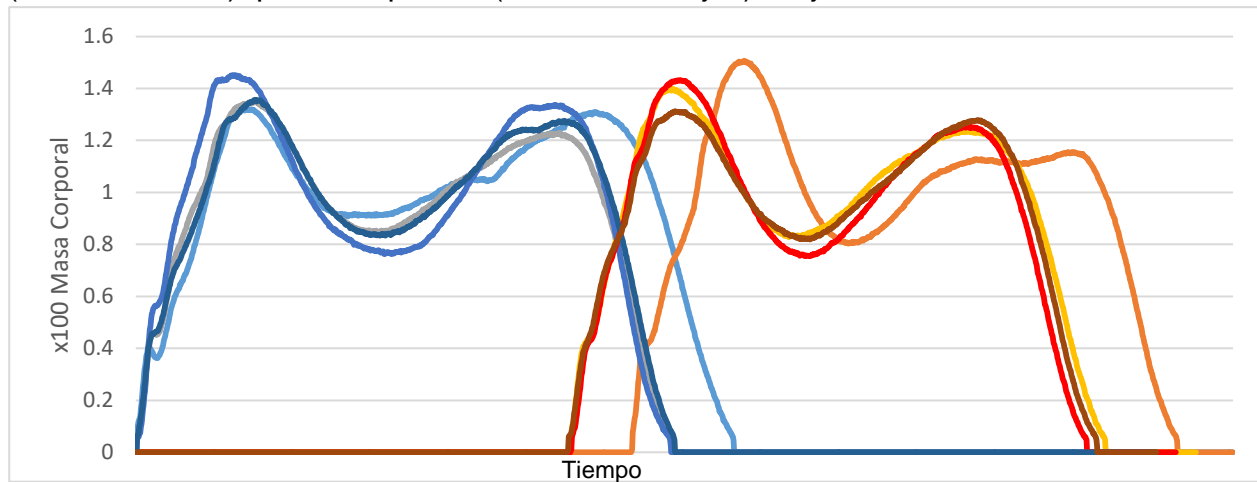


Figura 55. . Fuerza de reacción vertical en las cuatro pruebas con mochila, pierna derecha (escalas azules); pierna izquierda (escalas naranjas). Sujeto 3.

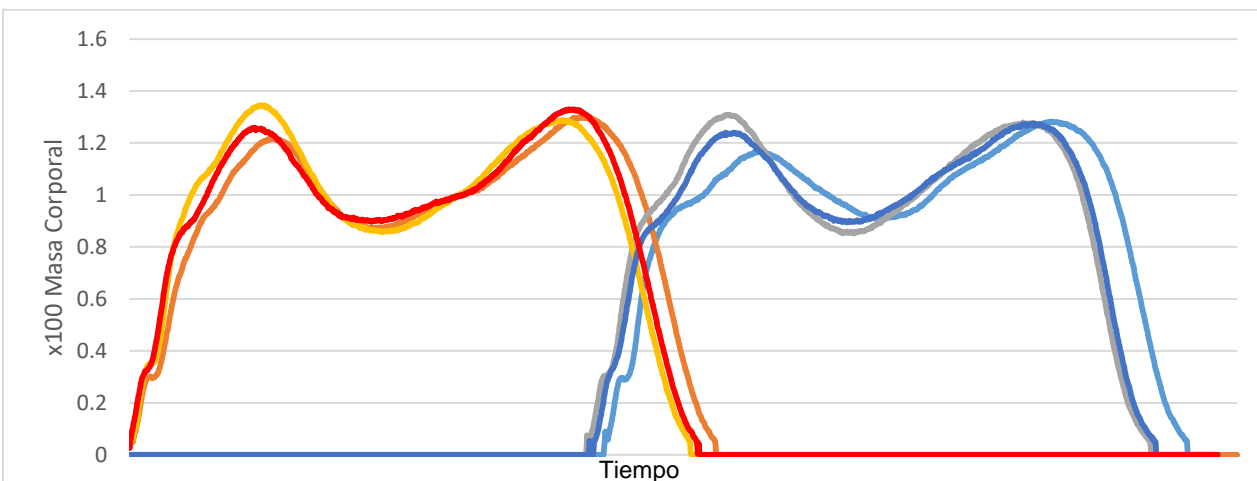


Figura 57. . Fuerza de reacción vertical en las tres pruebas con mochila, pierna derecha (escalas azules); pierna izquierda (escalas naranjas). Sujeto 4.

## 7.6 Prueba t de Student.

Los resultados de la prueba t de Student mostraron que la Duración de doble apoyo obtuvo una alta diferencia significativa entre las medias ( $t=-8.224$ ,  $p=0.004$ ) (Ver Figura 50). Mientras que la Longitud de paso no obtuvo diferencia significativa ( $t=-0.410$ ,  $p=0.709$ ) (Ver Figura 51).

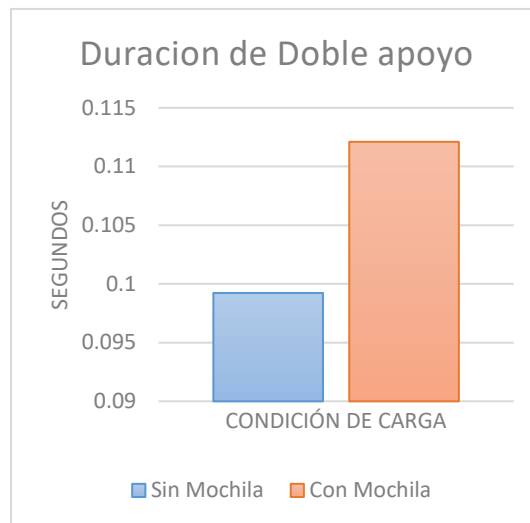


Figura 58. Duración de doble apoyo.

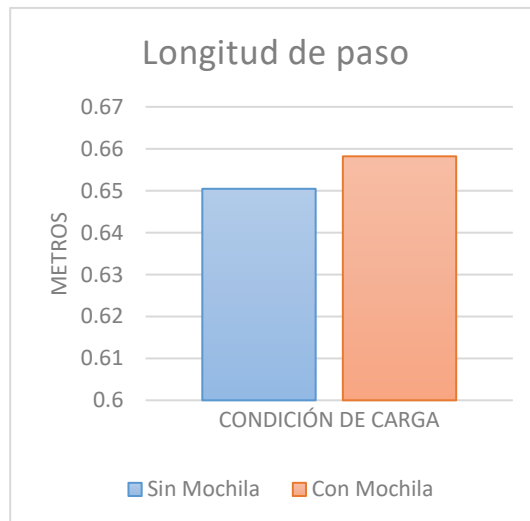


Figura 59. Longitud de paso.

En la comparación de las fuerzas de reacción verticales se obtuvieron los siguientes resultados. El impacto del talón, tanto para la pierna derecha y la pierna izquierda obtuvieron alta diferencia significativa  $t=-10.463$ , ( $p=0.002$ ) (Ver Figura 60) y  $t=-8.798$ , ( $p=0.003$ ) (Ver Figura 61) respectivamente. El Valle medio obtuvo una alta diferencia significativa para la pierna derecha ( $t=-7.057$ ,  $p=0.006$ ) (Ver Figura 62) y una diferencia significativa para la pierna izquierda ( $t=-3.963$ ,  $p=0.029$ ) (Ver Figura 63). La propulsión obtenida tuvo diferencias significativas en ambas piernas,  $t=-3.275$ , ( $p=0.047$ ) la pierna derecha (Ver Figura 64) y  $t=-3.108$ , ( $p=0.053$ ) para la pierna izquierda (Ver Figura 65).

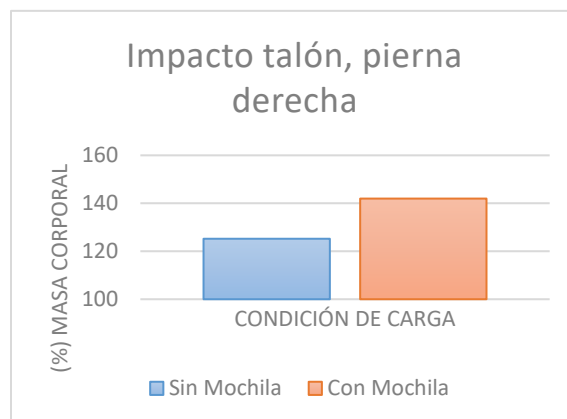


Figura 60. Impacto talón, pierna derecha.

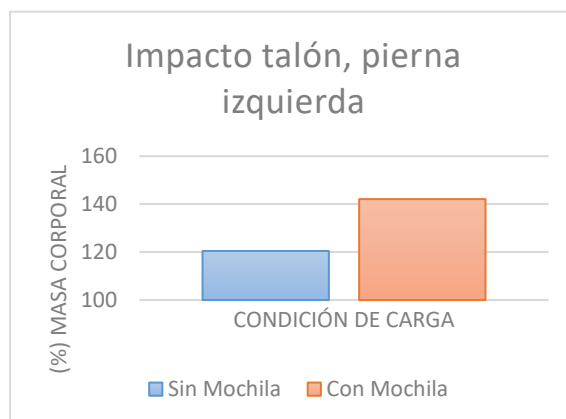


Figura 61. Impacto talón, pierna izquierda.

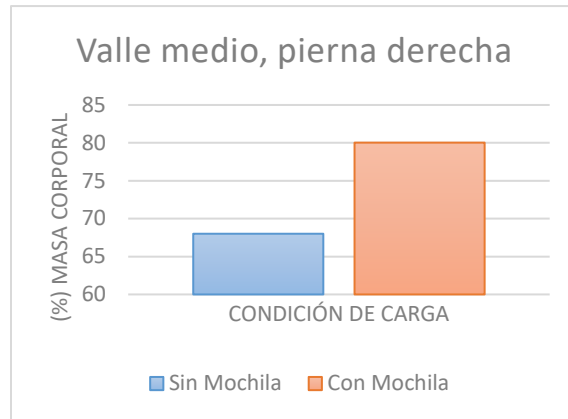


Figura 62. Valle medio, pierna derecha.

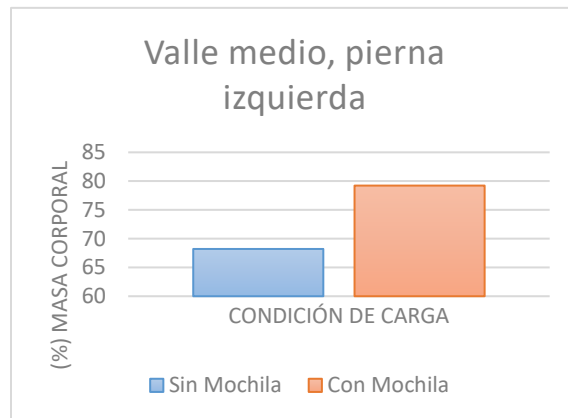


Figura 63. Valle medio, pierna izquierda.

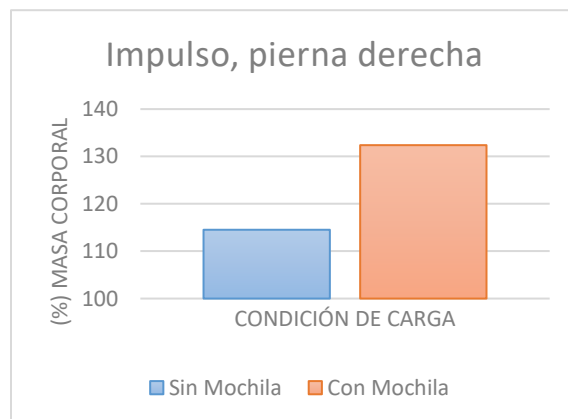


Figura 64. Impulso, pierna derecha.

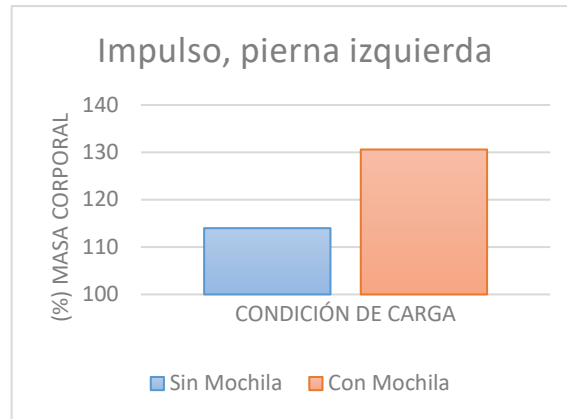


Figura 65. Impulso, pierna izquierda.

## 8 DISCUSIÓN

Este trabajo se realizó con el objetivo de conocer las diferencias de la longitud de paso y la duración del doble apoyo de cuando se camina de manera natural, en comparación de cuando se realiza transportando una carga externa con una mochila a la espalda, en los jóvenes de 11 y 12 años. Además de analizar y comparar en ambos casos como se lleva a cabo el comportamiento de las fuerzas de reacción de suelo en su eje vertical. Y así el educador físico logre evaluar y detectar problemas de tipo motor en el ámbito escolar. Cabe resaltar que los resultados presentados no son concluyentes, ya que la muestra utilizada no es la adecuada.

En primer lugar, el peso promedio obtenido de las mochilas (17.82%), con el contenido de un día normal de escuela, en donde todos los casos, el peso de la mochila superó el 16% del peso corporal de cada niño. El promedio obtenido fue muy similar al conseguido por Pascoe et al., 1997, en los Estados Unidos, quienes obtuvieron un 17.7% del peso corporal.

En cuanto a las variables espacio-temporales las cuales nos permiten describir la marcha de manera sencilla, los resultados indican que el incremento en la duración del doble apoyo provocado por el peso de las mochilas, modifica significativamente la marcha de los niños que participaron en el estudio.

Los resultados anteriores concuerdan a los de Hong y Brueggemann (2000), quienes obtuvieron un aumento significativo en la duración del doble apoyo al llevar cargas equivalentes al 20% del peso corporal, respaldando los resultados obtenidos en el presente estudio con un porcentaje de sobrecarga menor. De acuerdo a Knapik, Harman y Reynolds (1996), conforme se incrementan las cargas en las mochilas la fase de oscilación disminuye, con lo cual la duración del doble apoyo se ve incrementada. Hong y Brueggemann (2000) y Cottalorda, Bouelle y Gautheron (2004) explican que este aumento de la duración del doble apoyo se debe a las adaptaciones que debe realizar el cuerpo humano al llevar consigo una carga extra en la espalda, ya que provoca que se eleve el centro de gravedad. Esto se traduce en una marcha inestable, por lo que se procura reducir la fase de oscilación pues representa la fase de mayor inestabilidad, aumentando así, la fase de doble apoyo.

Respecto a la longitud de paso, existen diferentes resultados en las investigaciones encontradas con respecto a las modificaciones de la longitud de paso con cargas extras a la espalda. Por un lado Hong y Cheung (2003), no obtuvieron cambios significativos en la longitud de paso, al igual que en el presente estudio. Sin embargo, autores como Knapik, Harman y Reynolds (1996), los cuales encontraron cambios en la longitud de paso, explican que este cambio se da dependiendo de cómo los sujetos se ajusten a las cargas extras. Por ejemplo pueden reducir la longitud de paso aumentando la cadencia para conservar patrones normales de la marcha; o pueden simplemente mantener su longitud de paso constante. En este trabajo los resultados sugieren que la muestra simplemente continuo con una longitud de paso constante.

LaFiandra, Wagenaar, Holt y Obusek (2003), sugieren que la disminución de la longitud de paso acompañada del aumento de la cadencia, se debe a la disminución de la rotación pélvica provocada por el aumento de la carga en la espalda. Y como resultado, como se mencionó anteriormente, se obtiene el aumento del doble apoyo. Sin embargo, Attwells, Birrell, Hooper y Mansfield (2006), mencionan que esta forma de adaptación a las cargas sólo se da con velocidades preestablecidas, como lo son en una caminadora, lo cual concuerda porque la que la muestra no obtuvo una diferencia significativa en la longitud de paso.



Al estudiar cada gráfica de la componente vertical de las plataformas de fuerza en ambas piernas, sin mochila y con mochila, los valores registrados en el primer pico donde se lleva a cabo el impacto del talón; el valle medio, instante en que el pie completo se encuentra en contacto con el suelo; y el segundo pico, que muestra el impulso del pie (Viel, 2002); vemos que el primer y el segundo pico son superiores al 100% del peso total del cuerpo, pero también se puede observar que todos, es decir el valle y los dos picos, aumentan en la prueba con mochila. Estos incrementos en las fuerzas de reacción verticales reflejan el esfuerzo del cuerpo para mantener la estabilidad dinámica de acuerdo a las exigencias, en este caso el cargar una mochila del 17% del peso corporal (Watanabe y Wang, 2013).

Los resultados obtenidos de las fuerzas de reacción verticales indican un aumento significativo en el pico donde el talón impacta al contacto con el suelo. Attwells, Birrell, Hooper y Mansfield (2006) mencionan en sus investigaciones haber encontrado una tendencia al aumento de la flexión de rodilla al momento del contacto del talón con el suelo conforme aumentan las cargas, con el propósito de amortiguar el impacto del talón. La inhabilidad para lograr la amortiguación de las fuerzas puede crear sobrecargas en los tejidos suaves (Gelalis, Ristanis, Nikolopoulos, Politis, Rigas, y Xenakis, 2012). Por lo que para estudios posteriores se recomienda el estudio de la flexión de rodilla.

Factores externos que afectan la marcha, como en este caso las mochilas, son cargas extras para los mecanismos de control del balance y pueden afectarlo (Gelalis, Ristanis, Nikolopoulos, Politis, Rigas y Xenakis, 2012). Por tal motivo autores como Hong y Brueggemann (2000) recomiendan que los niños en edad escolar no deben de exceder del 10 al 12% de su peso corporal, ya que menciona que en ninguno de esos porcentajes presentaron modificaciones en la marcha. Otro factor que modifica la marcha con el uso de mochilas, además de su peso, es su tiempo de uso (Talbot, Bhattacharya, Davis, Shukla, y Levin, 2009), la cual no fue considerada en el presente trabajo.

Dentro del plan de estudios 2016 se menciona el papel de la educación física en cuanto a la importancia del cuidado de la salud no solo a través de la actividad física, sino cuidando otros aspectos como lo son la adopción de posturas adecuadas. Es aquí donde el educador físico tiene la posibilidad de identificar de qué manera se altera la marcha y

crear medidas de acción para mantener saludable un patrón de movimiento tan importante como la marcha.

## **9 CONCLUSIÓN**

En el presente trabajo se obtuvieron resultados no concluyentes por el tamaño de la muestra, que indican que al transportar cargas externas superiores al 15% del peso corporal, utilizando mochilas a la espalda, se modifican los parámetros de la duración del doble apoyo; y las fuerzas de reacción verticales en niños de 11 y 12 años. Estos cambios se deben principalmente a la alteración que sufre el cuerpo debido al peso extra, provocando que el cuerpo se adapte.

Por esta razón es de importancia para el educador físico conocer el patrón básico de la marcha, y las modificaciones que pueda sufrir ante factores como lo es transportar cargas externas con mochilas a la espalda; y de este modo pueda generar soluciones o tomar medidas de prevención, para que los niños continúen con un sano desarrollo. Para compensar las alteraciones del balance por la reubicación del centro de gravedad el educador físico podría trabajar ejercicios de equilibrio. En cuanto a las fuerzas de reacción puede ser necesario re-educar el patrón de la marcha para que los niños sepan cómo realizar cada zancada.

## 10 BIBLIOGRAFÍA

Aguado, X. (2015). Unidades de medida. En P. Pérez Soriano y S. Llana Belloch, *Biomecánica básica, aplicada a la actividad física y deporte* (1era ed., pp. 401-423). Barcelona: Editorial Paidotribo.

Al-Khabbaz, Y., Shimada, T., y Hasegawa, M. (2008). *The effect of backpack heaviness on trunk-lower extremity muscle activities and trunk posture*. *Gait & Posture*, 28(2), 297-302. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gaitpost.2008.01.002>

Attwells, R., Birrell, S., Hooper, R., y Mansfield, N. (2006). *Influence of carrying heavy loads on soldiers' posture, movements and gait*. *Ergonomics*, 49(14), 1527-1537. <http://dx.doi.org/10.1080/00140130600757237>

Cerda Aburto, L. (2010). Evaluación del paciente con trastornos de la marcha. Covisa, J. M. L. T. Alteraciones de la marcha.

Chansirinukor, W., Wilson, D., Grimmer, K., y Dansie, B. (2001). *Effects of backpacks on students: measurement of cervical and shoulder posture*. *The Australian Journal Of Physiotherapy*, 47(2), 110-116.

Christine, Kistner, F., Fiebert, I., y Roach, K. (2012). *Effect of backpack load carriage on cervical posture in primary schoolchildren*. *Work*, 41(1), 99-108.

Collado, S., Pascual, F., Alvarez, A., & Rodríguez, L. P. (2003). Análisis de la marcha. Factores Moduladores. *Revista de la Facultad de Ciencias de la Salud*, 1.

Cottalorda, J., Bouelle, S., y Gautheron, V. (2004). Effects of backpack carrying in children. *Orthopedics*, 27(11), 1172-1177.

Covisa, J. M. L. T.(2008). Alteraciones de la marcha. *Libro de Protocolos de Neurología. Protocolos diagnósticos y terapéuticos de la Asociación Española de Neurología Pediatría*, 103-16.

De Paula, A., Silva, J., Paschoarelli, L., y Fujii, J. (2012). *Backpacks and school children's obesity: challenges for public health and ergonomics*. *Work*, 41900-906.

Dockrell, S., Simms, C., y Blake, C. (2013). Schoolbag weight limit: can it be defined?. *Journal of School Health*, 83(5), 368-377.

Gelalis, I. D., Ristanis, S., Nikolopoulos, A., Politis, A., Rigas, C., y Xenakis, T. (2012). Loading rate patterns in scoliotic children during gait: the impact of the schoolbag carriage and the importance of its position. *European Spine Journal*, 21(10), 1936-1941.

Henry Osorio, J., y Hernando Valencia, M. (2013). *Bases para el entendimiento del proceso de la marcha humana. (Spanish)*. *Archivos De Medicina (1657-320X)*, 13(1), 88-96.

Hong, Y., Li, J., y Fong, D. T. (2008). Effect of prolonged walking with backpack loads on trunk muscle activity and fatigue in children. *Journal Of Electromyography And Kinesiology: Official Journal Of The International Society Of Electrophysiological Kinesiology*, 18(6), 990-996.

Hong, Y., y Brueggemann, G. P. (2000). Changes in gait patterns in 10-year-old boys with increasing loads when walking on a treadmill. *Gait & Posture*, 11(3), 254-259.

Hong, Y., y Cheung, C. K. (2003). Gait and posture responses to backpack load during level walking in children. *Gait & posture*, 17(1), 28-33.

Knapik, J., Harman, E., y Reynolds, K. (1996). *Load carriage using packs: A review of physiological, biomechanical and medical aspects*. *Applied Ergonomics*, 27(3), 207-216. [http://dx.doi.org/10.1016/0003-6870\(96\)00013-0](http://dx.doi.org/10.1016/0003-6870(96)00013-0)

Mademli, L. y Morey, G. (2015). La marcha humana y la carrera. En P. Perez Soriano y S. Llana Belloch, *Biomecánica básica, aplicada a la actividad física y deporte* (1era ed., pp. 401-423). Barcelona: Editorial Paidotribo.

Mc Clenaghan, B. y Gallahue, D. (2001). *Movimientos fundamentales su desarrollo y rehabilitación*. México D.F. (México): Editorial Médica Panamericana.

Pascoe, D. D., Pascoe, D. E., Wang, Y. T., Shim, D. M., y Kim, C. K. (1997). Influence of carrying book bags on gait cycle and posture of youths. *Ergonomics*, 40(6), 631-641.

Ramadan, M. Z., y Al-Shayea, A. M. (2013). A modified backpack design for male school children. *International Journal Of Industrial Ergonomics*, 43(5), 462-471. doi:10.1016/j.ergon.2013.03.002

Talbott, N. R., Bhattacharya, A., Davis, K. G., Shukla, R., y Levin, L. (2009). School backpacks: it's more than just a weight problem. *Work*, 34(4), 481-494.

Vicon Motion Systems (2010, marzo) Plug-in Gait Product Guide—Foundation Notes. Revisado el 25 de septiembre de 2016 desde internet: <https://www.vicon.com/downloads/documentation/vicon-documentation/plug-in-gait-product-guide>

Viel, E. (2002). *La marcha humana, la carrera y el salto*. Barcelona: Masson

Villa Moreno, A., Gutiérrez Gutiérrez, E., y Pérez Moreno, J. C. (2008). Consideraciones para el análisis de la marcha humana. Técnicas de videogrametría, electromiografía y dinamometría. *Revista ingeniería biomédica*, 2(3), 16-26.

Vladimir, P., Gheorghe, B., Igor, D., Jiří, Z., y Martin, Z. (2014). *Pattern of gait analysis in women - case study*. *Gymnasium: Scientific Journal of Education, Sports & Health*, 15(2), 244-252.

Watanabe, K., y Wang, Y. (2013). Influence of backpack load and gait speed on plantar forces during walking. *Research in Sports Medicine*, 21(4), 395-401.

Zipp, P. (1982). *Recommendations for the standardization of lead positions in surface electromyography*. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 50(1), 41-54. <http://dx.doi.org/10.1007/bf00952243>