



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE CUENCA**  
**CARRERA DE BIOMEDICINA**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLATAFORMA PARA LA EVALUACIÓN  
BIOMECÁNICA DE SOBRECARGAS EN LA REGIÓN CERVICAL**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
título de Ingeniera Biomédica

**AUTORAS: KATHERINE DAYANA MOSQUERA HONORES**  
**PAULA VALERIA ORTEGA SIAVICHAY**  
**TUTORA: ING. ANA CECILIA VILLA PARRA, PHD.**

Cuenca - Ecuador

2025

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotras, Katherine Dayana Mosquera Honores con documento de identificación N° 0705318137 y Paula Valeria Ortega Siavichay con documento de identificación N° 0106522154=manifestamos que:

Somos las autoras y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 11 de febrero del 2025

Atentamente,



Katherine Dayana Mosquera Honores

0705318137



Paula Valeria Ortega Siavichay

0106522154

## **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotras, Katherine Dayana Mosquera Honores con documento de identificación N° 0705318137 y Paula Valeria Ortega Siavichay con documento de identificación N° 0106522154, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autoras del Proyecto técnico: “Diseño e implementación de una plataforma para la evaluación biomecánica de sobrecargas en la región cervical”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera Biomédica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 11 de febrero del 2025

Atentamente,



Katherine Dayana Mosquera Honores  
0705318137



Paula Valeria Ortega Siavichay  
0106522154

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Ana Cecilia Villa Parra con documento de identificación N° 0103874194, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLATAFORMA PARA LA EVALUACIÓN BIOMECÁNICA DE SOBRECARGAS EN LA REGIÓN CERVICAL, realizado por Katherine Dayana Mosquera Honores con documento de identificación N° 0705318137 y por Paula Valeria Ortega Siavichay con documento de identificación N° 0106522154, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 11 de febrero del 2025

Atentamente,



Ing. Ana Cecilia Villa Parra, PhD.

0103874194

## **DEDICATORIA**

Dedico en primer lugar a Dios por haberme permitido llegar hasta este momento tan importante en mi vida, por guardar mi vida y la de mis seres queridos.

A mi madre Ing. Aurelia Honores Maldonado por ser mi motor y mi socorro cuando más lo necesito, a mi padre Lic. Edwin Mosquera Rosales por su ayuda incondicional, a Lic. Ramón Vásquez por siempre motivarme, a mi abuelo Sr. Juan Honores y a mi persona especial en el cielo Sra. Bolivia Maldonado y a mis hermanos Jeremy, Romina y Juliana por inspirarme a ser mejor cada día y poder guiarlos con mi ejemplo.

Tambien dedico este trabajo a mis amigos incondicionales que hice a lo largo de la carrera que me apoyaron en este arduo camino y me aconsejaron, estoy muy segura de que sin ellos no habría salido adelante en muchas ocasiones.

**-Katherine Mosquera Honores**

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar este trabajo, en primer lugar, a mi amada madre, quien ha sido una de mis fuentes de sabiduría y amor, brindándome su apoyo incondicional durante esta bella etapa. Siempre estuvo presente para escuchar cada historia que viví dentro y fuera de las aulas, aconsejándome con paciencia y cariño, al igual que mi padre.

Dedico también este logro a mis abuelos maternos, en especial a mi querido papito Manuel, quien estuvo a mi lado brindándome el apoyo necesario para alcanzar este sueño, al igual que mi querida abuela, cuyo apoyo y motivación fueron fundamentales para este logro.

A mi hermano del alma, dedico este triunfo con la esperanza de sembrar en él un ejemplo de constancia, disciplina, responsabilidad y amor, valores que deseo que lo guíen para el éxito en su vida.

Asimismo, quiero dedicar este trabajo a Andrew José quien fue en muchas ocasiones un rayo de luz, trayendo consigo nuevas emociones y enseñanzas, haciéndome sentir una mujer fuerte y segura. Su paciencia y amor al compartir sus conocimientos conmigo han dejado una marca en mi mente y corazón.

A mis hijos gatunos Franches y Lucas quiero dedicarles una mención especial para expresar lo importante que son en mi vida y cuánto significó su cálida compañía durante mis noches de estudio. Su recibimiento al llegar a casa, después de largas jornadas en la universidad, los llevaré siempre en mi mente y corazón.

**-Paula Ortega Siavichay**

## **AGRADECIMIENTOS**

Expreso mi gratitud, en primer lugar, a Dios por haberme permitido alcanzar este momento trascendental, así como por su protección constante sobre mí y mis seres queridos.

A mis padres, por ser mi mayor fuente de inspiración y apoyo en los momentos difíciles, por su respaldo incondicional y sabiduría. A Moncho, por su constante motivación. A mis abuelos maternos, y a mis hermanos por impulsarme a mejorar cada día y ser un ejemplo para ellos.

También agradezco profundamente a mi compañera de tesis Paula Ortega, porque en ella encontré a una familia fuera de casa, una hermana que nunca tuve y protagonista de algunos de los mejores recuerdos que me llevo de esta etapa de mi vida. A amigos incondicionales que aparecieron en el momento justo para enseñarme que existen personas con hermosos corazones, quienes estuvieron a mi lado durante esta etapa, brindándome apoyo, consejos y risas en momentos duros como buenos. Sin la compañía y aliento de cada amigo (a), este camino habría sido mucho más difícil de recorrer.

Y, por último, expreso mi sincero agradecimiento a mi tutora de tesis, Ing. Ana Cecilia Villa, cuya paciencia y dedicación me han guiado a lo largo de este proceso. Su apoyo no solo se ha reflejado en el aula, sino también a través de su ejemplo, inspirándome a crecer profesionalmente.

- **Katherine Mosquera Honores**

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer en primer lugar a Dios por permitirme alcanzar esta meta. A mis padres, por su amor incondicional, su apoyo constante y por ser mi mayor inspiración. A mi tutora, Ana Cecilia, por su orientación, paciencia y dedicación a lo largo de este proceso. A mi amiga y compañera de tesis, por su valiosa amistad, por cada consejo, compañía, por esos desayunos con bolones que nos sacaban de la rutina universitaria y por todos los momentos compartidos. A mis amigos y a mi familia, por su compañía y palabras de aliento en cada etapa de este camino.

Expreso también mi gratitud a Andrew José, por su amor, apoyo inquebrantable y por estar a mi lado en los momentos de incertidumbre, brindándome siempre palabras de aliento.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron a que este sueño se hiciera realidad.

**-Paula Ortega Siavichay**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN .....	17
2.	Problema del estudio .....	17
2.1	Antecedentes .....	17
2.2	Descripción del problema.....	20
2.3	Importancia y alcances .....	21
2.4	Delimitación.....	21
2.4.1	Espacial .....	21
2.4.2	Temporal.....	21
2.4.3	Poblacional .....	22
3.	OBJETIVOS.....	22
3.1	Objetivo General .....	22
3.2	Objetivos específicos.....	22
4.	HIPÓTESIS.....	22
4.1	Hipótesis general.....	22
4.2	Hipótesis específicas .....	22
5.	MARCO TEÓRICO.....	23
5.1	Biomecánica.....	23
5.2	Biomecánica de la región cervical.....	23
5.3	Software para análisis biomecánico Kinovea.....	24
5.4	Plataformas para evaluaciones posturales .....	24
5.5	Ángulos que se calculan en evaluaciones posturales .....	25
5.6	Proyectos relacionados al estudio de postura con herramientas tecnológicas .....	26
6.	DESARROLLO .....	31
6.1	Diagrama de Bloques .....	31
6.2	Escenario para la captura de las fotografías .....	32
6.2.1	Colocación de la cuadrícula .....	32
6.2.2	Preparación del trípode y la cámara .....	32
	Como primer paso se deben cargar las imágenes con las siguientes opciones: .....	41
	Marcación de Puntos.....	41
	Imagen en el Plano Frontal: Se deberán marcar cinco puntos mediante clics en las zonas indicadas en la imagen de referencia.....	41
	Imágenes en el Plano Sagital: Se deberán colocar tres puntos.....	41

Cálculo de Ángulos con las opciones:.....	41
Cálculo del Peso de la Mochila: Para este paso, se ingresa el peso corporal y el peso de la mochila, luego presione "Calcular porcentaje" para obtener la evaluación correspondiente.....	42
Generación de Reporte: Presione el botón "Generar reporte" para obtener un archivo PDF con los resultados.....	42
6.3 Evaluación de la plataforma con la metodología FMEA .....	42
6.4 Modos de fallo.....	44
Determinación de Severidad, Ocurrencia y Detección .....	44
Vestimenta .....	50
Posicionamiento en la cuadrícula.....	51
Registro de Datos del Participante .....	51
Revisión.....	51
6.5 Pruebas con participantes .....	52
VARIABLES ANALIZADAS .....	52
Criterios de evaluación.....	52
7. RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	53
8. PRESUPUESTO .....	86
9. CONCLUSIONES .....	87
10. RECOMENDACIONES .....	88
11. REFERENCIAS .....	89
ANEXOS 93	
A1. Manual de usuario .....	93
Introducción .....	93
Requisitos del Sistema .....	93
Uso de la Herramienta Paty.....	93
Ejecutar la Herramienta.....	93
Interacción con la Interfaz Gráfica.....	94
A2 Consentimiento Informado.....	96

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Tabla de información de proyectos y herramientas relacionados al estudio de postura.	27
Tabla 2.	Proporción entre la altura del participante y la altura de la cámara. ....	33
Tabla 3.	Identificación de Modos de Fallo.....	42
Tabla 4.	Evaluación de Efectos .....	43
Tabla 5.	Análisis de modos de fallo .....	44
Tabla 6.	Escalas para la determinación de severidad, ocurrencia y detección .....	45
Tabla 7.	Cálculo del Número de Prioridad de Riesgo (RPN).....	46
Tabla 8.	Análisis de Prioridades.....	46
Tabla 9.	Modos de falla más críticos que requieren atención prioritaria.....	47
Tabla 10.	Propuesta de acciones correctivas .....	47
Tabla 11.	Plan de Implementación para corrección de errores en la colocación de puntos de referencia	48
Tabla 12.	Plan de Implementación para la reducción de la variabilidad en la posición de la cámara.	49
Tabla 13.	Plan de Implementación de fallos en la visualización y almacenamiento de datos.....	49
Tabla 14.	Mediciones de los ángulos alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ), gamma ( $\gamma$ ) y delta ( $\delta$ ) con la herramienta Paty (P) y el software Kinovea (K) en la Condición Sin Mochila. ....	53
Tabla 15.	Mediciones de los ángulos alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ), gamma ( $\gamma$ ) y delta ( $\delta$ ) con la herramienta Paty (P) y el software Kinovea (K) en la Condición Con Mochila. ....	53
Tabla 16.	Tabla de resultados de las mediciones de los ángulos alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ), gamma ( $\gamma$ ) y delta ( $\delta$ ) con la herramienta Paty (P) y el software Kinovea (K). ....	54
Tabla 17.	Tabla de resultados de las mediciones de los ángulos alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ), gamma ( $\gamma$ ) y delta ( $\delta$ ) con la herramienta Paty (P) y el software Kinovea (K). ....	54
Tabla 18.	Tabla de resultados de los ángulos medidos en el Plano Frontal Derecho. ....	70
Tabla 19.	Tabla de resultados de los ángulos medidos en el Plano Frontal Izquierdo. ....	70
Tabla 20.	Tabla de resultados de los ángulos medidos en el Plano Sagital Derecho.....	71
Tabla 21.	Tabla de resultados de los ángulos medidos en el Plano Sagital Izquierdo.....	71
Tabla 22.	Pesos corporales (lb), (kg) y de las mochilas (lb), (kg).....	84
Tabla 23.	Resultados del peso de la mochila de cada participante.....	84
Tabla 24.	Presupuesto para desarrollar la Herramienta Postural Assessment Paty. ....	86

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Sobrecargas en la región cervical por mala postura al usar celular.....	18
Figura 2 Postura inadecuada de escolares por sobrecargas en la mochila.....	19
Figura 3 Planos y ejes anatómicos. ....	23
Figura 4 Control de video del Software. ....	24
Figura 5 Diagrama de bloques de la herramienta para evaluación postural Postural Assessment and Testinng for You Paty.....	31
Figura 6 Cuadrícula postural.....	32
Figura 7 Escenario para la evaluación con la herramienta Paty.....	33
Figura 8 Puntos de referencia en el plano frontal.....	34
Figura 9 Ángulo alfa ( $\alpha$ ) en el hombro derecho y ángulo beta ( $\beta$ ) en el hombro izquierdo.....	35
Figura 10 Sección del código para calcular los ángulos alfa ( $\alpha$ ) y beta ( $\beta$ ). ....	35
Figura 11 Resultados de los ángulos alfa ( $\alpha$ ) y beta ( $\beta$ ) con su valoración.....	36
Figura 12 Puntos de referencia Imágenes Sagital Derecha y Sagital Izquierda.....	36
Figura 13 Ángulos gamma ( $\gamma$ ) de la oreja derecha y delta ( $\delta$ ) de la oreja izquierda.....	37
Figura 14 Sección del código para calcular el ángulo gamma ( $\gamma$ ).....	37
Figura 15 Sección del código para calcular el ángulo delta ( $\delta$ ).....	37
Figura 16 Botones para la carga de imágenes.....	38
Figura 17 Ruta específica.....	38
Figura 18 Botones para reiniciar marcadores, botones para calcular los ángulos y los widgets de texto con los resultados de los ángulos y su valoración.....	39
Figura 19 Imágenes de referencia con su texto guía.....	40
Figura 20 Interfaz de la herramienta Paty.....	40
Figura 21 Resultados con Paty y Kinovea en condición Con Mochila (CM); a) ángulos; b) diferencias entre las mediciones de los ángulos; c) dispersión de los datos; d) diagrama de cajas... 55	
Figura 22 Resultados con Paty y Kinovea en condición Mochila de lado Derecho (MD); a) ángulos; b) diferencias entre las mediciones de los ángulos; c) dispersión de los datos; d) diagrama de cajas. 56	
Figura 23 Resultados con Paty y Kinovea en condición MI; a) ángulos; b) diferencias entre las mediciones de los ángulos; c) dispersión de los datos; d) diagrama de cajas. ....	57
Figura 24 Resultados con Paty y Kinovea en condición sin mochila (SM); a) ángulos; b) diferencias entre las mediciones de los ángulos; c) dispersión de los datos; d) diagrama de cajas.....	58
Figura 25 Resultados con Paty y Kinovea en condición CM; a) ángulos; b) diferencias entre las mediciones de los ángulos; c) dispersión de los datos; d) diagrama de cajas. ....	59
Figura 26 Resultados con Paty y Kinovea en condición MD; a) ángulos; b) diferencias entre las mediciones de los ángulos; c) dispersión de los datos; d) diagrama de cajas.....	60

Figura 27 Resultados con Paty y Kinovea en condición MI; a) ángulos; b) diferencias entre las mediciones de los ángulos; c) dispersión de los datos; d) diagrama de cajas. ....	61
Figura 28 Resultados con Paty y Kinovea en condición SM; a) ángulos; b) diferencias entre las mediciones de los ángulos; c) dispersión de los datos; d) diagrama de cajas. ....	62
Figura 29 Resultados con Paty y Kinovea en condición CM a) ángulos; b) diferencias entre las mediciones de los ángulos; c) dispersión de los datos; d) diagrama de cajas. ....	63
Figura 30 Resultados con Paty y Kinovea en condición MD; a) ángulos; b) diferencias entre las mediciones de los ángulos; c) dispersión de los datos; d) diagrama de cajas. ....	64
Figura 31 Resultados con Paty y Kinovea en condición MI; a) ángulos; b) diferencias entre las mediciones de los ángulos; c) dispersión de los datos; d) diagrama de cajas. ....	65
Figura 32 Resultados con Paty y Kinovea en condición SM; a) ángulos; b) diferencias entre las mediciones de los ángulos; c) dispersión de los datos; d) diagrama de cajas. ....	66
Figura 33 Resultados con Paty y Kinovea en condición CM; a) ángulos; b) diferencias entre las mediciones de los ángulos; c) dispersión de los datos; d) diagrama de cajas. ....	67
Figura 34 Resultados con Paty y Kinovea en condición MD; a) ángulos; b) diferencias entre las mediciones de los ángulos; c) dispersión de los datos; d) diagrama de cajas. ....	68
Figura 35 Resultados con Paty y Kinovea en condición MI; a) ángulos; ) diferencias entre las mediciones de los ángulos; c) dispersión de los datos; d) diagrama de cajas. ....	69
Figura 36 a) Gráfico de Bland-Altman para la comparación de ángulos posturales con y sin mochila en el plano frontal derecho; b) Diagrama de cajas para la comparación de ángulos posturales con y sin mochila; c) Gráfico de dispersión entre los ángulos posturales medidos en ambas condiciones	72
Figura 37 (a) Gráfico de Bland-Altman para la comparación de ángulos posturales sin mochila y con mochila del lado derecho en el plano frontal derecho; (b) Diagrama de cajas para la comparación de ángulos posturales sin mochila y con mochila del lado derecho; (c) Gráfico de dispersión entre los ángulos posturales medidos en ambas condiciones.....	73
Figura 38 (a) Gráfico de Bland-Altman para la comparación de ángulos posturales sin mochila y con mochila de lado izquierdo en el plano frontal derecho; (b) Diagrama de cajas para la comparación de ángulos posturales sin mochila y con mochila de lado izquierdo; (c) Gráfico de dispersión entre los ángulos posturales medidos en ambas condiciones.....	74
Figura 39 (a) Gráfico de Bland-Altman para la comparación de ángulos posturales con y sin mochila en el plano frontal izquierdo; (b) Diagrama de cajas para la comparación de ángulos posturales con y sin mochila; (c) Gráfico de dispersión entre los ángulos posturales. ....	75
Figura 40 (a) Gráfico de Bland-Altman para la comparación de ángulos posturales sin mochila y con mochila del lado derecho en el plano frontal izquierdo.; (b) Diagrama de cajas para la comparación de ángulos posturales sin mochila y con mochila del lado derecho; (c) Gráfico de dispersión entre los ángulos posturales medidos en ambas condiciones.....	76
Figura 41 (a) Gráfico de Bland-Altman para la comparación de ángulos posturales sin mochila y con mochila de lado izquierdo en el plano frontal izquierdo.; (b) Diagrama de cajas para la comparación de ángulos posturales sin mochila y con mochila de lado izquierdo; (c) Gráfico de dispersión entre los ángulos posturales medidos en ambas condiciones.....	77
Figura 42 (a) Gráfico de Bland-Altman para la comparación de ángulos posturales con y sin mochila en el plano sagital derecho; (b) Diagrama de cajas para la comparación de ángulos	

posturales con y sin mochila; (c) Gráfico de dispersión entre los ángulos posturales medidos en ambas condiciones. ....	78
Figura 43 (a) Gráfico de Bland-Altman para la comparación de ángulos posturales sin mochila y con mochila del lado derecho en el plano sagital derecho; (b) Diagrama de cajas para la comparación de ángulos posturales sin mochila y con mochila del lado derecho; (c) Gráfico de dispersión entre los ángulos posturales medidos en ambas condiciones.....	79
Figura 44 (a) Gráfico de Bland-Altman para la comparación de ángulos posturales sin mochila y con mochila de lado izquierdo en el plano sagital derecho; (b) Diagrama de cajas para la comparación de ángulos posturales sin mochila y con mochila de lado izquierdo; (c) Gráfico de dispersión entre los ángulos posturales medidos en ambas condiciones.....	80
Figura 45 (a) Gráfico de Bland-Altman para la comparación de ángulos posturales con y sin mochila en el plano sagital izquierdo; (b) Diagrama de cajas para la comparación de ángulos posturales con y sin mochila; (c) Gráfico de dispersión entre los ángulos posturales medidos en ambas condiciones. ....	81
Figura 46 (a) Gráfico de Bland-Altman para la comparación de ángulos posturales sin mochila y con mochila del lado derecho en el plano sagital izquierdo; (b) Diagrama de cajas para la comparación de ángulos posturales sin mochila y con mochila del lado derecho; (c) Gráfico de dispersión entre los ángulos posturales medidos en ambas condiciones.....	82
Figura 47 (a) Gráfico de Bland-Altman para la comparación de ángulos posturales sin mochila y con mochila de lado izquierdo en el plano sagital izquierdo; (b) Diagrama de cajas para la comparación de ángulos posturales sin mochila y con mochila de lado izquierdo; (c) Gráfico de dispersión entre los ángulos posturales medidos en ambas condiciones.....	83
Figura 48 Gráficos de barras de los planos frontales a) derecho; b) izquierdo .....	85
Figura 49 Gráficos de barras de los planos sagitales a) derecho; b) izquierdo. ....	86

## RESUMEN

El presente trabajo describe el desarrollo de *Postural Assessment and Testinng for You Paty*, una herramienta para medir ángulos en la región cervical que permitan analizar cambios en la postura a partir de imágenes, para brindar información que apoye la evaluación biomecánica de sobrecargas en la región cervical causadas por el uso inadecuado de mochilas debido a la alta prevalencia de alteraciones musculoesqueléticas derivadas de cargas excesivas y a su efecto negativo en la salud a largo plazo. *Postural Assessment and Testinng for You Paty* permite medir los ángulos posturales en los planos frontal y sagital, facilitando la identificación de desviaciones posturales. La herramienta se desarrolló en Python utilizando el framework PyQt5, integrando una interfaz gráfica para la carga y análisis de imágenes para la medición de ángulos. Se definieron puntos de referencia anatómicos y se aplicaron cálculos vectoriales basados en el producto punto para determinar los ángulos de inclinación del tronco y la cabeza. Además, la herramienta determina la relación del peso de la mochila con el peso corporal y clasifica la carga en categorías de "Aceptable" o "Sobrecarga" según estándares recomendados.

Se realizó una comparación de los resultados con el software Kinovea, que es frecuentemente empleado en estudios biomecánicos. Los resultados muestran una alta correlación entre las mediciones realizadas con *Postural Assessment and Testinng for You Paty* y Kinovea, con diferencias promedio de ángulos menores a 1°. En la condición sin mochila la correlación en el plano frontal izquierdo fue de 0,941 con una diferencia promedio de 0,727°; mientras que en la condición con mochila la correlación disminuyó a 0,904 con una diferencia promedio de 1,13°. Se evidenció que el portar la mochila en un solo hombro, especialmente en el derecho, genera una inclinación significativa del tronco, con una correlación de 0,959 y una diferencia media de 0,34° en el plano frontal izquierdo. Además, en el plano sagital, la inclinación de la cabeza hacia adelante aumentó al llevar la mochila, con una correlación de 0,989 y una diferencia promedio de 0,47°.

Como conclusiones se destaca la confiabilidad de *Postural Assessment and Testinng for You Paty* para la detección de cambios posturales, validada a través de su comparación con Kinovea. Es necesario fomentar la educación postural y la correcta distribución del peso de la mochila para evitar desbalances y sobrecargas en la columna vertebral.

### Palabras clave

Biomecánica, postura, Kinovea, ángulos posturales, sobrecarga cervical, postura, mochila.

## **ABSTRACT**

The present study introduces the development of *Postural Assessment and Testinng for You Paty*, a tool for measuring angles in the cervical region to analyze posture changes based on images, providing information to support the biomechanical assessment of overloads in the cervical area caused by improper backpack use. This is motivated by the high prevalence of musculoskeletal disorders resulting from excessive loads and their long-term negative health effects. *Postural Assessment and Testinng for You Paty* enables the measurement of postural angles in the frontal and sagittal planes, facilitating the identification of postural deviations.

The tool was developed in Python using the PyQt5 framework, integrating a graphical user interface for image loading and analysis for angle measurement. Anatomical reference points were defined, and vector calculations based on the dot product were applied to determine the inclination angles of the trunk and head. Additionally, the tool determines the relationship between backpack weight and body weight, classifying the load into categories of "Acceptable" or "Overload" according to recommended standards.

A comparison of results was conducted with the Kinovea software, which is frequently used in biomechanical studies. The results show a high correlation between measurements taken with *Postural Assessment and Testinng for You Paty* and Kinovea, with average angular differences of less than 1°. In the no-backpack condition, the correlation in the left frontal plane was 0.941, with an average difference of 0.727°, whereas in the backpack condition, the correlation decreased to 0.904, with an average difference of 1.13°. It was found that carrying the backpack on a single shoulder, particularly the right one, causes significant trunk inclination, with a correlation of 0.959 and an average difference of 0.34° in the left frontal plane. Furthermore, in the sagittal plane, forward head inclination increased when carrying the backpack, with a correlation of 0.989 and an average difference of 0.47°.

In conclusion, *Postural Assessment and Testinng for You Paty* has demonstrated reliability in detecting postural changes, validated through its comparison with Kinovea. It is essential to promote postural education and proper backpack weight distribution to prevent imbalances and overloads on the spine.

### **Keywords**

Biomechanics, posture, Kinovea, postural angles, cervical overload, posture, backpack.

## **1. INTRODUCCIÓN**

En la actualidad, el transporte de objetos mediante mochilas es una actividad cotidiana en diversos ámbitos, desde el escolar hasta el laboral. Sin embargo, cuando la carga excede los límites recomendados, puede desencadenar alteraciones biomecánicas que afectan la postura y generan malestares musculoesqueléticos (Santos et al., 2021). De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2018, citado en Ministerio de Salud, 2018), el peso de la mochila no debería exceder el 10% al 15% del peso corporal, ya que su uso inadecuado puede provocar desviaciones posturales como cifosis, escoliosis y lumbalgia (Rodríguez et al., 2022). Estas alteraciones no solo comprometen la salud física de los usuarios, sino que también pueden generar fatiga, incomodidad y limitaciones en el desempeño de sus actividades diarias, impactando su calidad de vida (Wilczyński et al., 2020).

Muchas personas no son conscientes del efecto acumulativo que tiene la carga excesiva de la mochila sobre su estructura musculoesquelética, factores como la distribución del peso, la forma en la que se lleva la mochila y la duración del tiempo de carga pueden influir significativamente en la postura. En particular la región cervical es una de las más afectadas ya que una carga desbalanceada puede generar compensaciones posturales que derivan en tensiones musculares y posibles desviaciones en la columna vertebral (Santos et al., 2017). Ante esta situación, resulta esencial analizar los efectos de la carga excesiva en la región cervical y proponer estrategias de prevención que contribuyan a reducir los riesgos biomecánicos derivados del uso inadecuado de la mochila.

Por lo mencionado, el presente estudio propone el desarrollo de una plataforma para análisis postural enfocada en la evaluación de los ángulos posturales en los planos frontal y sagital tanto derecho como izquierdo permitiendo analizar la influencia del peso de la mochila en la postura de los usuarios como una herramienta para apoyar la detección de posibles alteraciones que podrían derivar en problemas musculoesqueléticos a largo plazo. Como parte del proceso de validación y para determinar su margen de error, la plataforma se contrastará con Kinovea, un software de análisis biomecánico ampliamente utilizado en estudios de postura (Beltrán, 2022).

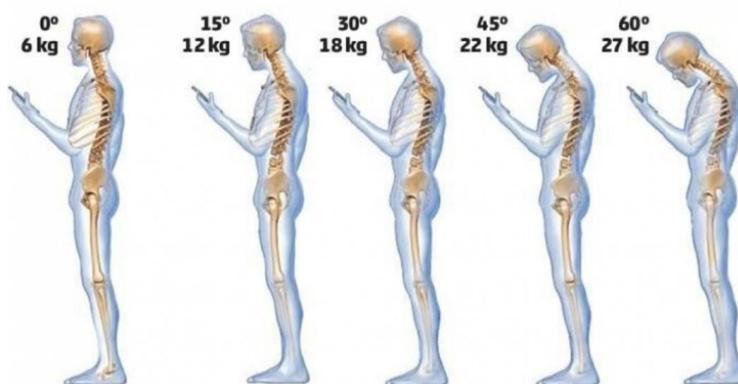
## **2. Problema del estudio**

### **2.1 Antecedentes**

La sobrecarga en la región cervical se refiere al exceso de tensión o carga que soporta la estructura del cuello afectando a los músculos, ligamentos y vértebras que lo conforman, producto de posturas inadecuadas, llevar cargas elevadas en esta región, movimientos repetitivos o adopciones de posiciones estáticas por rangos de tiempo prolongados (Cilveti Gubía & Idoate García, 2000). El

término “postura” tiene su origen en la palabra del latín “positura” que hace referencia a la posición del cuerpo con respecto a la gravedad, resultado de la relación entre la musculatura y la gravedad (Real Academia Española, 2011). Es importante mantener una postura adecuada principalmente por su impacto sobre la salud física. Por ejemplo, el uso prolongado de dispositivos móviles en una postura de flexión cervical incrementa la electro actividad muscular de la zona cervical, lo que puede terminar en un cambio postural inadecuado debido a la sobrecarga en la región. (Domínguez Gasca, Alcocer Maldonado, & Domínguez Carrillo, 2018). De hecho, según (Casado et al. 2008) el dolor de espalda es una afección que impacta el 70-80 % de la población en algún momento de su vida.

**Figura 1 Sobrecargas en la región cervical por mala postura al usar celular.**



*Nota.* Representación de la sobrecarga que generan ciertos ángulos de inclinación de la cabeza y el cambio de postura que se genera. Tomado de Zeni, É. (2024).

Este problema afecta tanto a niños como adultos como consecuencia de la acumulación de deficiencias posturales a lo largo del tiempo, según Merchán (2020) una postura inadecuada al sentarse o cargar mochilas pesadas desde edades tempranas pueden desencadenar dolor musculoesquelético, enfatizando la importancia de establecer una buena higiene postural desde la niñez. Esta situación se ve agravada cuando no se corrigen estas posturas en los primeros años de vida, de acuerdo con Simbaña et al. (2022) destacan que el desarrollo de habilidades motrices y el control del cuerpo son fundamentales para mantener un equilibrio y evitar trastornos posturales.

En el entorno escolar, los niños acostumbran a llevar mochilas por encima de los límites recomendables, los cuales deberían ser entre el 10 al 15% del peso del usuario, según datos proporcionados por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2018, citado en Ministerio de Salud, 2018)), lo que representa un problema preocupante por sus efectos a largo plazo Espinoza (2018).

Esto se ve reflejado en el estudio de Mrozkowiak & Stępień-Słodkowska (2022) realizado en Polonia, que evaluó el impacto del peso excesivo en mochilas a 65 niños de 7 años, concluyendo en que había cambios significativos en la postura, en especial en el plano frontal. Al otro lado del mundo, en Colombia, Wees-Verhelst et al. (2014) al observar a 242 niños entre 5 hasta 17 años se determinó que la inclinación del tronco hacia el lado derecho era la más común, en República Dominicana, Yebra (2019) examinó a 18 estudiantes de la edad de 12-13 años y determinó que la cifosis era el más común de los males posturales, confirmado en el 33,3 % de los casos; además, el 44 % de estudiantes llevaba mochilas que excedían el 10% del peso y el 16,7 % más de 15%. En el cantón Riobamba, en Ecuador (Rodríguez et al. 2022) estudiaron a 419 alumnos entre 6 hasta 12 años y en el 79 % notaron 332 desviaciones posturales; la cifosis correspondió al 39 % con mayor frecuencia en los niños entre 8-9 años mientras que la escoliosis se presentó en un 36 %; con más incidencia en niñas de los 6-7 años. En la ciudad de Guayaquil, Espinoza (2019) presentó un estudio, en el que se evaluó a 198 escolares entre 8 hasta 13 años y en el 81 %, la alteración postural fue escoliosis. La Figura 2 ilustra la postura inadecuada de los escolares que a diario están expuestos a la sobrecarga en sus mochilas. Además, se muestra la disposición correcta de los útiles dentro de la mochila, recomendando colocar el elemento de mayor tamaño en la parte más próxima a la espalda y distribuir los demás de manera descendente.

**Figura 2 Postura inadecuada de escolares por sobrecargas en la mochila.**



*Nota.* Zonas con más riesgo por sobrepeso en las mochilas. Tomado de: ergológico.com

Este problema también se manifiesta en el sector laboral, (Hernández et al. 2017) hace referencia a que quienes cuidan a personas con discapacidad regularmente sufren sobrecargas por la manipulación y transporte del peso de los pacientes, que con frecuencia lo hacen sin apoyo adecuado, provocando lesiones y dolores a nivel de la columna vertebral, por ejemplo, en Canadá, el 90% de los cuidadores pertenecen a esta categoría y en los EE. UU el 75%.

Barba (2017) analizó las alteraciones musculoesqueléticas más frecuentes en los cuidadores de niños con parálisis cerebral y encontró que la región de la espalda era la más afectada y que el 90 % de la muestra manifestó molestias. En dicho trabajo se informó que aquellos que asisten a este grupo vulnerable presentan alteraciones musculoesqueléticas por la sobrecarga física a la que se está sometido, lo que provoca el daño de ciertos músculos y la aparición de puntos gatillo dolorosos.

De manera similar existe otro grupo de trabajadores que enfrentan este tipo de problema, varias investigaciones han mostrado que existe una alta incidencia de trastornos musculoesqueléticos relacionados con los profesionales de la salud, en especial en los que están en contacto con los pacientes como los fisioterapeutas, durante sus actividades laborales (Jurado Tamayo ,2021).

La salud y el bienestar se ven afectados por alteraciones en la postura (Anyachukwu et al. 2024), además de varios aspectos emocionales y cognitivos incluido el desarrollo del habla en el caso de los niños (Wilczyński et al 2020), como deterioro de la capacidad de hablar y capacidad de atención y participación en el entorno (Goulème et al. 2015).

También se toma en cuenta que, la formación inadecuada de las curvaturas espinales de la columna afecta la capacidad pulmonar a través de la restricción de la ventilación de la parte superior de los pulmones, lo que puede facilitar las enfermedades respiratorias, además, la alteración biomecánica puede provocar dolor musculoesquelético como la lumbalgia (Santos et al. 2021), que tiene una prevalencia estimada en la infancia en el rango del 8,6% al 70%, que constituye un riesgo considerable para el desarrollo del dolor lumbar crónico en la edad adulta (Zmyślna et al. 2021). Si se inicia la prevención desde una edad temprana, los niños y adolescentes aprenderán patrones de postura eficiente y saludable, por lo tanto, muchas personas no tendrán que corregir esos hábitos consolidados (Santos et al. 2017).

## **2.2 Descripción del problema**

Es fundamental analizar cómo la sobrecarga de mochilas afecta la postura, considerando ángulos para estudiar la postura, el peso de la mochila y el tiempo de uso diario ya que influyen directamente en el bienestar físico. La detección temprana de posibles alteraciones posturales y musculoesqueléticas resulta clave para prevenir problemas de salud a largo plazo como dolores crónicos o deformaciones, y promover hábitos de postura más saludables (Romero 2019).

En este contexto, el presente proyecto tiene como objetivo desarrollar una plataforma para la evaluación biomecánica de sobrecargas en la región cervical a partir de la medición de ángulos en los planos sagital y frontal para aportar con información para evaluación de postura. Diversos estudios

han evidenciado la prevalencia de alteraciones musculoesqueléticas en escolares y trabajadores, destacándose condiciones como escoliosis, cifosis y lumbalgia, que no solo afectan el bienestar físico, sino también aspectos emocionales y cognitivos, como señala (Wilczyński et al. 2020).

### **2.3 Importancia y alcances**

El presente estudio es fundamental para comprender el impacto de la sobrecarga en la región cervical debido al uso de mochilas que exceden el peso recomendado. A través del análisis biomecánico de la postura, se busca brindar información que aporta a prevenir alteraciones musculoesqueléticas y corregir hábitos posturales inadecuados desde la infancia. Diversas investigaciones han demostrado que la carga excesiva de mochila afecta la postura y puede generar problemas como escoliosis, cifosis y lumbalgia (Espinoza, 2019; Rodríguez et al., 2022; Yebra, 2019). Además, se ha evidenciado que estas alteraciones no solo impactan el bienestar físico, sino también el rendimiento académico y la salud emocional de los niños (Wilczyński et al., 2020; Goulème et al., 2015).

Este estudio tiene un alcance tanto académico como práctico. Desde el punto de vista científico, permite avanzar en el desarrollo de herramientas tecnológicas para la evaluación biomecánica, proporcionando una base metodológica para futuras investigaciones y en el ámbito social, busca generar conciencia en padres, docentes y profesionales de la salud sobre la importancia de una correcta higiene postural, promoviendo la implementación de estrategias preventivas (Merchán, 2020).

La implementación de una plataforma para la evaluación biomecánica contribuirá significativamente a la identificación temprana de desviaciones posturales y su posterior intervención, lo que puede reducir el riesgo de sufrir problemas crónicos en la columna cervical (Santos et al., 2021; Zmysłna et al., 2021).

### **2.4 Delimitación**

#### **2.4.1 Espacial**

El desarrollo y ejecución de la investigación se efectuó en la Universidad Politécnica Salesiana (UPS) ubicada en la ciudad de Cuenca, capital de la provincia de Azuay, Ecuador.

#### **2.4.2 Temporal**

El tiempo estimado para el alcance de los objetivos planteados es alrededor de 4 meses aproximadamente entre el 29 de octubre de 2024 y 10 de febrero de 2025.

### **2.4.3 Poblacional**

La muestra está conformada por hombres y mujeres entre 19 y 25 años, principalmente estudiantes universitarios de la UPS.

## **3. OBJETIVOS**

### **3.1 Objetivo General**

Diseñar e implementar una plataforma para la evaluación biomecánica de sobrecargas en la región cervical

### **3.2 Objetivos específicos**

1. Revisión del estado del arte sobre estudios para evaluar los efectos biomecánicos de las sobrecargas en la región cervical.
2. Diseñar e implementar una plataforma para identificar condiciones de sobrecarga y medir ángulos que reflejen desviaciones posturales en los planos frontal y sagital.
3. Validar la plataforma implementada con pruebas realizadas en el laboratorio.
4. Proponer un protocolo para el uso de esta plataforma en un estudio de sobrecarga en la región cervical.

## **4. HIPÓTESIS**

### **4.1 Hipótesis general**

La plataforma de evaluación biomecánica desarrollada permite medir los ángulos de desviación postural en la región cervical causados por la sobrecarga de mochilas en jóvenes universitarios.

### **4.2 Hipótesis específicas**

1. La plataforma facilita la detección de alteraciones biomecánicas mediante el análisis de imágenes en los planos frontal y sagital.
2. La herramienta desarrollada es intuitiva y de fácil uso para la medición y análisis de la postura.
3. El sistema permite procesar datos de manera eficiente, generando informes automáticos que contribuyen a la evaluación postural de los participantes.

## 5. MARCO TEÓRICO

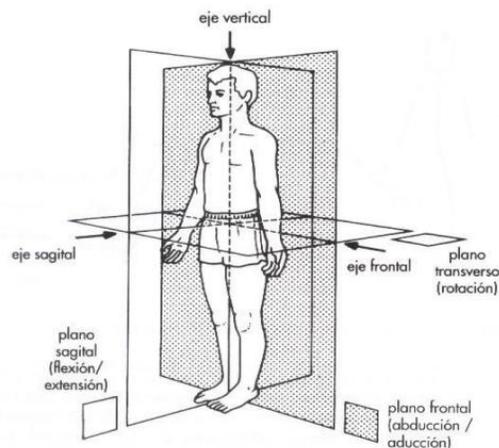
### 5.1 Biomecánica

La biomecánica es la disciplina que analiza los movimientos realizados por los seres vivos en diversas situaciones, con el propósito de establecer la relación entre ciertas variables y el desplazamiento. Para lograr un análisis integral, es necesario integrar conocimientos de mecánica, anatomía, fisiología, ingeniería y otras áreas. Este tipo de estudio se aplica con frecuencia en ámbitos como la medicina, la ergonomía y el deporte (Beltrán,2022, p.10).

Un estudio biomecánico analiza variables que afectan el movimiento, considerando tres planos (transversal, frontal y sagital) y tres ejes de referencia (vertical, sagital y frontal). Evalúa rangos articulares, asimetrías y posturas para corregir anomalías y optimizar el uso de equipos y mobiliario, asegurando una mejor interacción con la anatomía y el movimiento (Beltrán,2022, p.10).

En la figura 3 se muestran los planos y ejes anatómicos del cuerpo que mayormente se usan en los estudios biomecánicos.

**Figura 3**  
**Planos y ejes anatómicos.**



*Nota.* Planos y ejes que dividen al cuerpo humano. Tomado de (Beltrán, 2022).

### 5.2 Biomecánica de la región cervical

La columna vertebral es una estructura rígida que soporta cargas y presiones a su vez es flexible permitiéndole tener un amplio rango de movilidad. Aunque estas dos características son opuestas en funcionalidad ambas satisfacen las necesidades motoras del ser humano gracias a la interacción de sistemas biomecánicos que proporcionan estabilidad, flexibilidad, movilidad y elasticidad con protección. (Oliveira et al., 2007, p. 35)

Está formada por vértebras distribuidas en distintas regiones y se estructura biomecánicamente en tres pilares: uno anterior, compuesto por los cuerpos vertebrales y discos intervertebrales, y dos posteriores, formados por el arco vertebral y las apófisis articulares. El pilar anterior resiste las sobrecargas de compresión vertical gracias a la disposición de las trabéculas óseas, mientras que los pedículos y las láminas, con alta resistencia, conectan los pilares y protegen el conducto raquídeo. Esta estructura permite distribuir y soportar eficientemente las sobrecargas de compresión. (Oliveira et al., 2007, p. 36)

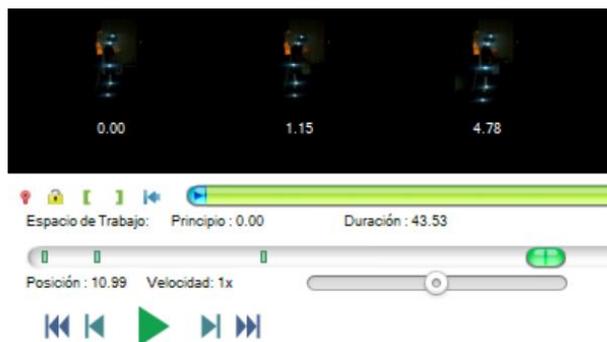
### 5.3 Software para análisis biomecánico Kinovea

Kinovea es un software libre diseñado para el análisis de imágenes y videos, ofreciendo funciones clave como la observación y estudio de grabaciones, calibración para la toma de medidas y comparación de videos. Es compatible con sistemas operativos Windows XP, Vista y 7, aunque no cuenta con versiones para Mac OS X ni GNU/Linux.

Entre sus principales aplicaciones se encuentran la comparación simultánea de videos para identificar diferencias en la ejecución de movimientos, la alineación de grabaciones desde distintos ángulos, la anotación y marcación de elementos en los videos, el seguimiento de trayectorias de objetos o personas y la aplicación de zoom para un análisis más detallado. (Runco y Lanzarini, 2017)

En la Figura 4 se muestra el control de video que permite analizar vídeos fotograma a fotograma, enfocándose en movimientos específicos y usando cámara lenta.

**Figura 4**  
*Control de video del Software.*



*Nota.* Interfaz del software Kinovea en un análisis de video. Tomado de (Beltrán, 2022)

### 5.4 Plataformas para evaluaciones posturales

El software LabVIEW junto con su extensión Makerhub que incluye una biblioteca de controles diseñada para operar al sensor Kinect V2 desarrollado por la empresa Microsoft, convirtiendo a esta

herramienta en un sistema capaz de ofrecer resultados precisos en segundos eliminando la necesidad de realizar cálculos manuales. (León et al. 2021)

Un estudio realizado en banqueros de edades entre 22 y 55 años para identificar el ángulo cráneo vertebral y sus efectos utilizando el software Kinovea, todos los datos se transfirieron a Excel y los resultados permitieron concluir que la mayoría de los empleados bancarios tienen una postura de cabeza adelantada. (Kamble et al. 2022)

Un análisis de posturas utilizando el software Kinovea complementando el estudio con encuestas se realizó para establecer la relación entre la información obtenida y los datos del software (Beltrán, 2021). En su análisis, se menciona que el promedio de todos los coeficientes de proporción es de 0,8 lo que sugiere que se encuentra dentro de los límites aceptados para validar los datos comparados del software Kinovea. Por otro lado, (Puig-Diví et al. 2019) llevaron a cabo un estudio para evaluar la validez y confiabilidad del software Kinovea en la obtención de datos de ángulos y distancias. Los resultados de este estudio sugieren que Kinovea es un programa válido.

Un sistema de visión para apoyar a los fisioterapeutas en el diagnóstico de la evaluación postural estática, desarrollado en Python con la librería OpenCV, incluyendo una interfaz para facilitar la interacción del usuario, reconocimiento y procesamiento de imágenes, seguidas de cálculos y almacenamiento de datos (Salazar et al. 2023). El sistema fue validado con personas de la ciudad de Pasto, considerando diversidad en ocupaciones, edades, género, estatura y contextura, lo que permitió evaluar diversas características anatómicas y su impacto en los resultados.

En la revisión de Wu. et al (2019) se explica que, en años recientes, se han desarrollado múltiples investigaciones sobre el modelado de la postura humana utilizando métodos como los Modelos de Markov Ocultos, las Máquinas de Soporte Vectorial, los modelos basados en Árboles Jerárquicos y los mapas de plantilla. Estos algoritmos han sido aplicados en deportes como el tenis, permitiendo reconocer algunas posiciones. En particular, el método de Árbol de Decisión ha facilitado la lectura de ángulos y rotaciones articulares, mientras que los sensores de medición inercial (IMU) se han empleado para identificar ciertas posturas específicas.

### **5.5 Ángulos que se calculan en evaluaciones posturales**

Una investigación sobre la prevalencia de maloclusiones y su asociamiento con alteraciones en la postura corporal en estudiantes de una comunidad en México, se presentan un método para la medición de ángulos que reflejen desviaciones posturales en el plano frontal y sagital (Aguilar Moreno y Taboada Aranza 2013). Para el plano frontal evaluaron al niño de frente y espalda tomando

de referencia la asimetría de los hombros, caderas y altura de los dedos de las manos. Los autores consideran que una postura correcta se registra cuando la línea de gravedad atraviesa la parte superior de la cabeza y se alinea con la columna, así como con las rodillas y los talones. Además, tanto la cintura escapular como pélvica deben de mantenerse paralelas y equilibradas. En cuanto al plano sagital la evaluación se realizó observando la posición de la cabeza y las curvaturas de la columna vertebral, los autores definieron como una postura aceptable la registrada cuando la línea de gravedad atraviesa puntos anatómicos como el vértice, la sincondrosis esfeno-occipital, el conducto auditivo externo, la articulación del hombro, la articulación coxofemoral, el centro de la rodilla y la articulación calcáneo-cuboidea (Aguilar Moreno y Taboada Aranza 2013).

En cuanto a las metodologías utilizadas para medir el rango de movimiento cervical, la mayoría de los estudios experimentales emplean métodos sencillos que se basan en observaciones visuales realizadas por el examinador, acompañadas del uso de un goniómetro y/o inclinómetro. Por otro lado, las técnicas más avanzadas utilizan capturas de imagen en posición estática, que pueden involucrar herramientas como rayos X, resonancia magnética, ultrasonido, entre otras (Venegas Toro, W. 2021).

La región cervical es particularmente susceptible a sobrecargas debido a su amplia gama de movimientos. Cuando las carillas articulares se inclinan más allá de los 45° respecto al plano transversal, o cuando la flexión y extensión en el plano sagital superan el rango de 5° a 17°, la flexión lateral en el plano frontal excede los 10° o la rotación en el plano transversal supera los 12°, se puede producir una sobrecarga que puede llevar a lesiones y daños en la mencionada área (Oliveira et al., 2007).

### **5.6 Proyectos relacionados al estudio de postura con herramientas tecnológicas**

Las tecnologías de reconocimiento de la postura humana tienen aplicaciones significativas en el diagnóstico de problemas musculoesqueléticos, que se posiciona entre las enfermedades con más prevalencia en todo el mundo Salazar et al. (2023). Los estudios en postura y biomecánica proporcionan herramientas para identificar y diagnosticar afecciones relacionadas con una mala posición corporal. Para ello, se emplean tres métodos de evaluación: directo, semidirecto e indirecto. El método directo utiliza sensores colocados en el cuerpo mientras la persona realiza una actividad, permitiendo el análisis dinámico de la postura. El semidirecto observa la actividad y la analiza mediante software especializado. Por último, el método indirecto cuyo objetivo es recopilar información mediante cuestionarios.

El trabajo de Wang & Huang (2021) evaluó el procesamiento de imágenes utilizando un microcontrolador FPGA, que ofrece procesamiento en tiempo real con mayor eficiencia en

comparación con microcontroladores convencionales. Esta evaluación destaca las principales partes del cuerpo humano, las segmenta automáticamente y extrae características relevantes como variables del entorno.

El uso de cámaras Kinect, como dispositivo de bajo costo en estudios y aplicaciones de reconocimiento de posturas en su estudio usan algoritmos para clasificar ejercicios de rehabilitación. Un trabajo evaluó la precisión de este tipo de sistemas, obteniendo un 91,9 % durante el movimiento y un 95,16 % en reposo, lo que demostró su eficacia para diagnósticos certeros y apoyo en procesos de rehabilitación (Klishkovskaia et al. 2020).

En la Tabla 1 se presenta información de proyectos y herramientas alrededor del estudio de postura, además de sus ventajas y desventajas.

***Tabla 1.***

***Tabla de información de proyectos y herramientas relacionados al estudio de postura.***

<b>Proyecto</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>	<b>Implementación</b>	<b>Referencias</b>
Tecnologías para el reconocimiento de la postura humana con 3 métodos: directo, con sensores en el cuerpo, semidirecto, con un software y el indirecto con un cuestionario.	Permite obtener un diagnóstico dinámico y específico de problemas musculoesqueléticos.	Se prevé que el método directo puede ser invasivo y el método indirecto menos preciso a comparación de los demás.	Este estudio es aplicado en análisis postural y biomecánico para un diagnóstico clínico.	(Salazar et al. 2023)
Software LabVIEW y Kinect V2 para el análisis postural en tiempo real teniendo automatización en sus resultados y sin cálculos manuales.	Alta precisión y procesamiento rápido.	Dependencia de un software y hardware específico para el funcionamiento correcto.	Es una herramienta accesible para profesionales del área para realizar un análisis de la postura del paciente en tiempo real.	(León et al. 2021)
Análisis de la postura utilizando Kinovea para identificar la incidencia de la cabeza adelantada entre empleados bancarios.	Los datos capturados pueden transferirse a Excel para análisis de resultados.	Aunque el software es útil para medir ángulos, el análisis requiere la transferencia y procesamiento manual de datos en Excel.	El estudio de (Kamble et al. 2022) ofrece un enfoque práctico y accesible para medir y analizar el ángulo craneovertebral, proporcionando información para abordar problemas posturales en el entorno laboral.	(Kamble et al. 2022)
Software Kinovea como herramienta patrón para el	El análisis de los coeficientes de proporción y su concordancia con	Aunque Kinovea es efectivo para medir ángulos, los	El estudio utilizó Kinovea para medir los ángulos posturales y	(Beltrán, 2022)

análisis de posturas en tareas sedentarias con fotogrametría.	los parámetros establecidos permite validar los resultados de Kinovea.	resultados son dependientes a la correcta colocación de los puntos de referencia	correlacionó los datos con encuestas para evaluar la influencia de factores como los hábitos de trabajo.	
Validez y confiabilidad del programa Kinovea en la obtención de ángulos y distancias mediante coordenadas en 4 perspectivas.	El estudio ofrece un análisis de la validez y confiabilidad de Kinovea en la obtención de datos de ángulos y distancias, lo que contribuye a mejorar la confianza en el uso del programa para investigaciones científicas.	Para obtener resultados precisos, es necesario que el usuario esté bien entrenado en el uso de Kinovea y en la correcta identificación de los puntos anatómicos en las imágenes.	El estudio se centró en validar la precisión de Kinovea para medir ángulos y distancias, por lo que la implementación requería el uso de este software en un ambiente controlado para obtener imágenes de alta calidad.	(Beltrán, 2022)
Sistema en Python con OpenCV para el diagnóstico postural estático.	Amplia personalización y software abierto.	Se requieren conocimientos avanzados para utilizar este sistema.	Utilizado en fisioterapia para evaluación de postura estática y almacenamiento de datos.	(Salazar et al. 2023)
Evaluación usada para el procesamiento de imágenes con un microcontrolador FPGA, el cual permite segmentar partes del cuerpo en tiempo real.	Alta eficiencia y capacidad de procesamiento de imágenes en tiempo real.	Costo elevado y complejidad técnica.	Procesamiento de imágenes aplicadas en biomecánica y evaluación corporal.	(Wang & Huang 2021)

Cámaras Kinect para clasificar ejercicios en rehabilitación.	Alta precisión en la clasificación en movimientos con un 91,9 % y en reposo con un 95,16 %.	Uso en ambientes controlados y movimientos específicos.	Para diagnóstico postural y apoyo en procesos de rehabilitación.	(Klishkovskaia et al. 2020)
Descripción de algoritmos HMM, SVM y DT para modelado postural, reconocimiento de ángulos y rotaciones de articulaciones con sensores IMU para detectar posturas.	Algoritmos versátiles aplicables a deportes y análisis biomecánico.	Implementación costosa y se requiere una experiencia técnica avanzada.	En el área de deportes y análisis biomecánico es utilizada para el reconocimiento de posturas.	
Evaluación observacional en los planos frontal y sagital de posturas en escolares tomando en cuenta la simetría y alineación en diferentes partes del cuerpo	Permite realizar evaluaciones observacionales sin necesidad de herramientas invasivas, lo que es beneficioso para una población escolar.	Las evaluaciones observacionales pueden no tener tanta precisión como los métodos instrumentales como plataformas o escáneres 3D.	En el área escolar o programas preventivos para prevención por mala postura en niños.	( Wu. et al (2019) Aguilar Moreno y Taboada Aranza 2013)

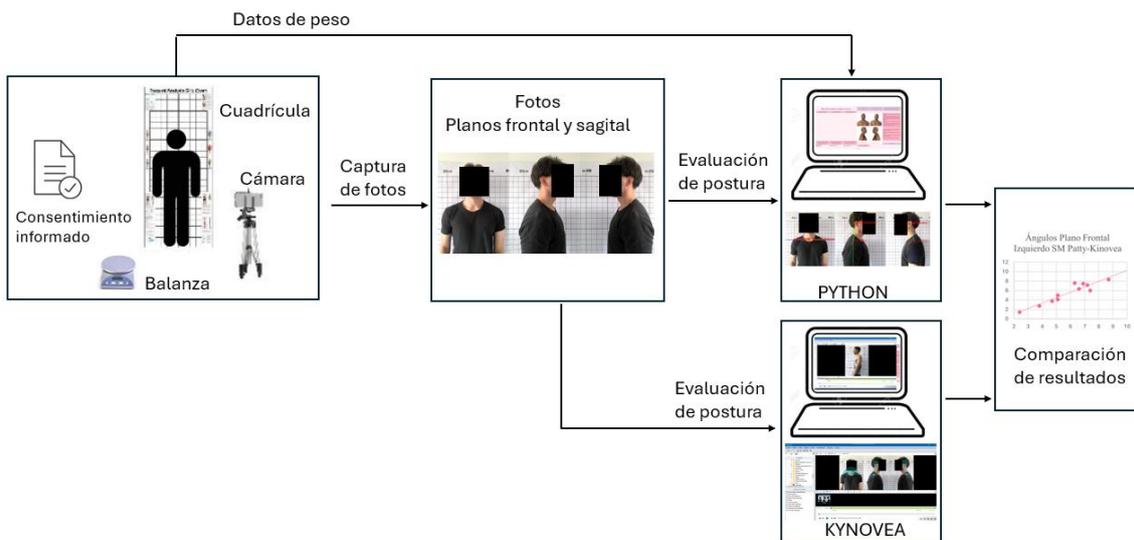
*Nota.* En esta tabla se describen las ventajas, desventajas e implementaciones de los estudios revisados.

## 6. DESARROLLO

### 6.1 Diagrama de Bloques

En la Figura 5 se presenta el diagrama de bloques de la herramienta *Postural Assessment and Testinng for You Paty*, en el que se puede visualizar la metodología empleada.

**Figura 5**  
**Diagrama de bloques de la herramienta para evaluación postural *Postural Assessment and Testinng for You Paty*.**



*Nota.* Diagrama de bloques de la herramienta Paty. Fuente: Propia

Para la plataforma se requiere lo siguiente:

- Cuadrícula postural en lona 170 cm de alto y 100 cm de ancho con divisiones de 5 cm por cuadrado.
- Balanza digital de piso.
- Trípode de celular marca LINCO ZENITH con altura ajustable.
- Cámara con una resolución de 12 megapíxeles con tamaño de 1,22  $\mu\text{m}$  c/u y una apertura de f/1,8. Para este caso se empleó la cámara del iPhone 8 porque cumple estas características
- Fuente de luz natural (ventanas amplias) y artificial (paneles LED).

## 6.2 Escenario para la captura de las fotografías

### 6.2.1 Colocación de la cuadrícula

Se debe asegurar que la cuadrícula esté verticalmente alineada y que la distancia del piso a la cuadrícula coincida con los centímetros que se indica al comienzo del grid es decir, que existan 5cm del suelo al inicio de la cuadrícula.

La cuadrícula debe colocarse a 20 cm de distancia del participante.

**Figura 6**  
**Cuadrícula postural.**



*Nota.* La imagen muestra la cuadrícula que se utilizó para este proyecto con sus dimensiones.  
Fuente: Propia

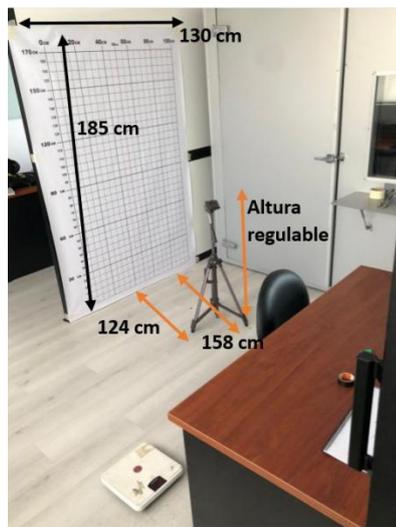
### 6.2.2 Preparación del trípode y la cámara

Se posiciona el trípode del celular marca LINCO ZENITH a las siguientes distancias de la cuadrícula:

- a) Pata delanteras del trípode: a 124 cm.
- b) Patas posteriores del trípode: a 158 cm

En la figura 7 se detallan los materiales utilizados en el laboratorio y las distancias que indica el protocolo.

**Figura 7**  
**Escenario para la evaluación con la herramienta Paty.**



*Nota.* Lugar de trabajo con el montaje para la captura y análisis de las fotografías. Fuente: Propia

Es necesario ajustar la altura de la cámara en proporción a la estatura del participante, como lo indica la Tabla 2

**Tabla 2.**

***Proporción entre la altura del participante y la altura de la cámara.***

<b>Altura del participante (cm)</b>	<b>Altura de la cámara (cm)</b>
155	122
160	126
163	128
165	130
167	132
170	134

*Nota:* Relación entre la altura del participante con respecto a la altura de la cámara. Fuente propia

Se debe asegurar que el trípode esté estable y que la cámara esté centrada frente a la cuadrícula, para esto se toman como referencia las líneas horizontales con el margen de la pantalla de la cámara.

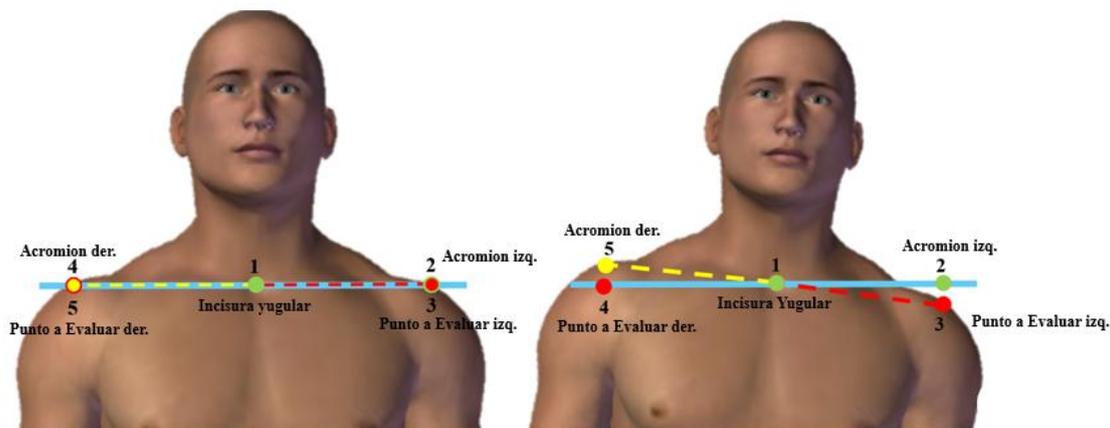
La cámara del iPhone 8 se ajusta con un Brillo de 50% y Bloqueo AE/AF para mantener la exposición y el enfoque constante.

### 6.3 Cálculo de ángulos para la evaluación de postura

Para el desarrollo de la herramienta se trabajó con Python 3.13.1 en el entorno de Visual Studio Code utilizando framework PyQt5. Se inició con un código para cargar una imagen desde cualquier directorio, esta imagen se le configuró la opción de edición para colocar puntos de referencia con un clic, que sirven como guía para obtener el ángulo a analizar. Este procedimiento se realiza con las imágenes de los planos frontal y sagital.

Para la imagen frontal se utilizaron cinco puntos de referencia como se muestra en la Figura 8. El primer punto se denominó “Incisura Yugular” que se marca en esta zona, el segundo punto llamado “Acromion izq” se marca sobre la recta horizontal que pasa por el acromion del usuario que es paralela a este, dependiendo de la postura que mantenga el usuario. El tercer punto se nombró “Punto a Evaluar izq” y se coloca en el acromion del usuario, el cuarto punto corresponde al “Acromion der” del hombro contrario y se evalúa con la misma disposición que el segundo punto finalmente el quinto punto denominado “Punto a Evaluar der” se sitúa en el hombro evaluado por el cuarto punto, de manera equivalente al tercer punto.

**Figura 8**  
**Puntos de referencia en el plano frontal.**



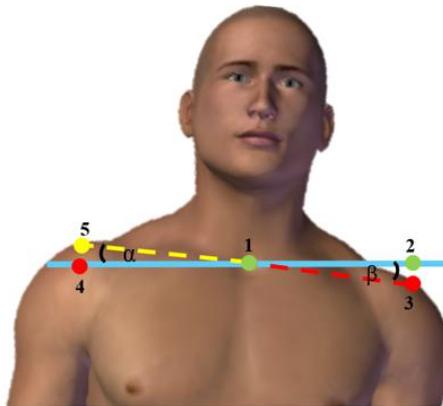
*Nota.* Colocación de los puntos de referencia en el plano frontal en dos posturas diferentes. Tomado de Zygote Body. (s.f.). *Vista en 3D del cuerpo humano plano frontal* [Imagen editada por las autoras]. Zygote Body. Recuperado el 8 de enero de 2025 de <https://www.zygotebody.com>

Para calcular los ángulos alfa ( $\alpha$ ) y beta ( $\beta$ ), se asignó  $\alpha$  al hombro derecho del usuario y  $\beta$  al hombro izquierdo como se muestra en la Figura 9. Se utiliza el concepto de producto punto con referencia a la línea horizontal que se forma al colocar el primer punto, la línea horizontal se define como el eje x con una pendiente de 0, el cálculo del ángulo  $\beta$  se realiza entre la línea formada desde el primer punto de referencia hasta el tercer punto y la recta horizontal, para ello se toma el producto entre el vector de la línea definida por los puntos p1 y p3\_left y el vector

horizontal (1, 0), lo mismo sucede para el ángulo  $\alpha$  utilizando el vector que conecta p1 con p3\_right.

**Figura 9**

**Ángulo alfa ( $\alpha$ ) en el hombro derecho y ángulo beta ( $\beta$ ) en el hombro izquierdo.**



*Nota.* La imagen indica los nombres de los ángulos para cada hombro. Tomado de Zygote Body. (s.f.). *Vista en 3D del cuerpo humano plano frontal* [Imagen editada por las autoras]. Zygote Body. Recuperado el 8 de enero de 2025 de <https://www.zygotebody.com>

El código para calcular los ángulos alfa ( $\alpha$ ) y beta ( $\beta$ ) mediante 3 puntos y una recta horizontal se muestra en la Figura 10.

**Figura 10**

**Sección del código para calcular los ángulos alfa ( $\alpha$ ) y beta ( $\beta$ ).**

```
def calculate_angles_front(self):
    # Calcular los ángulos para la vista frontal
    if len(self.points_front) == 5:
        p1, p2_left, p3_left, p2_right, p3_right = self.points_front
        self.angle_left = self.angle_between_line_and_horizontal(p1, p3_left)
        self.angle_right = self.angle_between_line_and_horizontal(p1, p3_right)
```

*Nota.* La imagen presenta el código que calcula los ángulos alfa ( $\alpha$ ) y beta ( $\beta$ ) mediante 3 puntos y una recta horizontal. Fuente: propia.

El cálculo del ángulo entre dos vectores  $A = (A_x, A_y)$  y  $B = (B_x, B_y)$  se realizó mediante la ecuación del producto punto, dada por la ecuación (1):

$$\cos(\theta) = \frac{A \cdot B}{|A| \cdot |B|} \quad (1)$$

Despejando  $\theta$ , se obtuvo (2):

$$\theta = \cos^{-1} \left( \frac{A \cdot B}{|A| \cdot |B|} \right) \quad (2)$$

Los resultados de los ángulos se evaluaron mediante una estructura condicional, en el caso de que  $\alpha$  o  $\beta$  fueran mayores a  $5^\circ$ , se muestra la palabra "Sobrecarga", si son menores a  $5^\circ$ , se muestra la palabra "Aceptable". Esto se refleja en la interfaz de usuario como parte de la evaluación de la postura, tal como se ilustra en la Figura 11.

**Figura 11**

**Resultados de los ángulos alfa ( $\alpha$ ) y beta ( $\beta$ ) con su valoración.**

Ángulo Der:  $5.65^\circ$  Sobrecarga  
 Ángulo Izq:  $3.21^\circ$  Aceptable

*Nota.* La imagen presenta el resultado del cálculo de los ángulos alfa ( $\alpha$ ) y beta ( $\beta$ ). Fuente: Propia.

Para la imagen en el plano sagital, tanto del lado derecho como del izquierdo, se utilizaron tres puntos de referencia como se muestra en la Figura 12. El primer punto denominado “Acromion”, como su nombre lo indica, se debe marcar en el acromion del usuario. El segundo punto llamado “Trago de la oreja” se coloca sobre la recta vertical que se genera al marcar el primer punto y que es paralela a la zona del trago de la oreja del usuario. Finalmente, el tercer punto denominado “Punto a evaluar” se marca en la zona del trago de la oreja del usuario.

**Figura 12**

**Puntos de referencia Imágenes Sagital Derecha y Sagital Izquierda.**



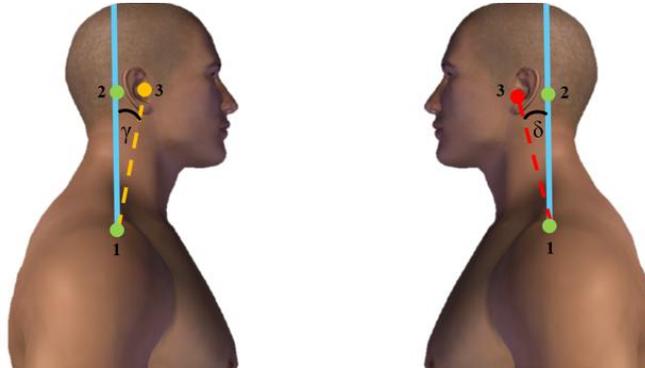
*Nota.* Colocación de los puntos en el plano sagital derecho e izquierdo. Tomado de Zygote Body. (s.f.). *Vista en 3D del cuerpo humano plano frontal* [Imagen editada por las autoras]. Zygote Body. Recuperado el 8 de enero de 2025 de <https://www.zygotebody.com>

El ángulo gamma ( $\gamma$ ) corresponde a la oreja derecha, mientras que el ángulo delta ( $\delta$ ) se asocia a la oreja izquierda como se muestra en la Figura 13. Se empleó el mismo concepto de producto punto con la diferencia de que la línea de referencia con pendiente cero fue ahora la recta vertical. El cálculo del ángulo  $\gamma$  se determina entre la línea formada por el primer y tercer punto y la recta vertical, para ello se toma el producto entre el vector de la línea definida por los puntos ( $p1, p3$ )

y el vector vertical (0, 1) como se indica en la Figura 13. De la misma manera el ángulo  $\delta$  se obtiene utilizando los vectores que conectan p1 con p3.

**Figura 13**

**Ángulos gamma ( $\gamma$ ) de la oreja derecha y delta ( $\delta$ ) de la oreja izquierda.**



*Nota.* Ángulos para el plano sagital derecho ( $\gamma$ ) e izquierdo ( $\delta$ ). Tomado de Zygote Body. (s.f). *Vista en 3D del cuerpo humano plano frontal* [Imagen editada por las autoras]. Zygote Body. Recuperado el 8 de enero de 2025 de <https://www.zygotebody.com>

El código para calcular el ángulo gamma ( $\gamma$ ) se muestra en la Figura 14.

**Figura 14**

**Sección del código para calcular el ángulo gamma ( $\gamma$ ).**

```
def calculate_angles_sagittal(self):
    # Calcular el ángulo para la vista sagittal
    if len(self.points_sagittal) == 3:
        p1, p2, p3 = self.points_sagittal
        self.angle_sagittal = self.angle_between_line_and_vertical(p1, p2, p3)
```

*Nota.* Código que calcula el ángulo gamma ( $\gamma$ ) mediante 3 puntos y una recta vertical. Fuente: Propia.

El código para calcular el ángulo delta ( $\delta$ ) mediante 3 puntos y una recta vertical se muestra en la Figura 15.

**Figura 15**

**Sección del código para calcular el ángulo delta ( $\delta$ ).**

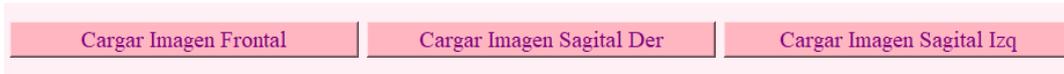
```
def calculate_angles_third(self):
    # Calcular el ángulo para la tercera imagen
    if len(self.points_third) == 3:
        p1, p2, p3 = self.points_third
        self.angle_third = self.angle_between_line_and_vertical(p1, p2, p3)
```

*Nota.* Código que calcula el ángulo delta ( $\delta$ ) mediante 3 puntos y una recta vertical. Fuente: Propia.

Para calcular el porcentaje del peso de la mochila con respecto al peso corporal se implementaron campos de entrada que permiten ingresar los valores de peso corporal del usuario y el peso de la mochila. El cálculo del porcentaje consiste en dividir el peso de la mochila entre el peso corporal y multiplicar el resultado por cien, si el valor obtenido se encuentra dentro del rango recomendado (<15%) se muestra junto al resultado la palabra "Aceptable", caso contrario se visualizaba la palabra "Sobrecarga" indicando que el peso de la mochila excede el límite recomendado.

Para el diseño de la interfaz se incluyeron tres botones destinados a la carga de imágenes correspondientes a la imagen frontal, la imagen sagital derecha y la imagen sagital izquierda, como se muestra en la Figura 16.

**Figura 16**  
**Botones para la carga de imágenes.**



*Nota.* Botones para cargar las imágenes en la interfaz. Fuente: Propia.

Estos botones permiten navegar en el explorador de archivos, y se estableció una ruta específica de una carpeta para facilitar la carga de imágenes, en las funciones `def upload_image_front(self)`, `def upload_image_sagittal(self)` y `def upload_image_third(self)`, como se muestra en la Figura 17, lo que optimizó el tiempo de carga de las imágenes.

El código para colocar una ruta específica del directorio se muestra en la Figura 17.

**Figura 17**  
**Ruta específica.**

```
def upload_image_front(self):
    # clic para contraer el intervalo. n frontal desde el sistema
    file_name, _ = QFileDialog.getOpenFileName(self, "Seleccionar Imagen Frontal",
                                              "C:\\Users\\Usuario\\OneDrive - Universidad Politecnica Salesiana\\Escritorio\\tesis",
                                              "Imágenes (*.png *.jpg *.jpeg *.bmp)")

def upload_image_sagittal(self):
    # Cargar una imagen sagital desde el sistema
    file_name, _ = QFileDialog.getOpenFileName(self, "Seleccionar Imagen Sagital",
                                              "C:\\Users\\Usuario\\OneDrive - Universidad Politecnica Salesiana\\Escritorio\\tesis",
                                              "Imágenes (*.png *.jpg *.jpeg *.bmp)")

def upload_image_third(self):
    # Cargar una imagen desde el sistema
    file_name, _ = QFileDialog.getOpenFileName(self, "Seleccionar Imagen Tercera Vista",
                                              "C:\\Users\\Usuario\\OneDrive - Universidad Politecnica Salesiana\\Escritorio\\tesis",
                                              "Imágenes (*.png *.jpg *.jpeg *.bmp)")
```

*Nota.* Código con la configuración para colocar una ruta específica del directorio. Fuente: Propia.

Para salvaguardar la identidad del usuario se colocó un rectángulo negro sobre el rostro en la fotografía cargada. Este rectángulo se genera mediante coordenadas en los ejes  $x$  y  $y$ , debajo de cada imagen se añadieron dos botones, uno de ellos denominado “Reiniciar Marcadores” como se muestra en la Figura 18, que permite borrar las rectas y puntos marcados en la fotografía. Esta función resulta útil en caso de que el experto cometa un error al posicionar un punto ya que puede hacer clic en este botón y reiniciar el proceso de análisis. Cada imagen tiene su propio botón de reinicio, los cuales están conectados con su respectiva función: *self. clear\_points\_front* para la imagen frontal, *self. clear\_points\_sagittal* para la imagen sagital derecha y *self. clear\_points\_third* para la imagen sagital izquierda.

Debajo de estos botones se ubicaron los botones para calcular y visualizar los ángulos de cada imagen denominados “Calcular Ángulo Frontal”, “Calcular Ángulo Sagital Der” y “Calcular Ángulo Sagital Izq.”. Se agregó un widget de texto para mostrar los resultados de los ángulos junto con su respectiva valoración como se muestra en la Figura 18. Además, la interfaz cuenta con cuatro imágenes de referencia, cada una acompañada de un texto guía para ayudar al experto en la colocación correcta de los puntos en los planos frontal, sagital derecho y sagital izquierdo, como se observa en la Figura 19.

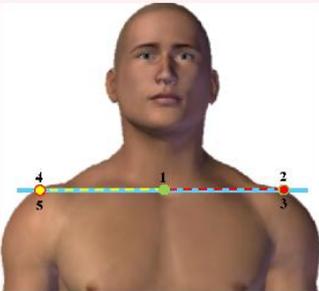
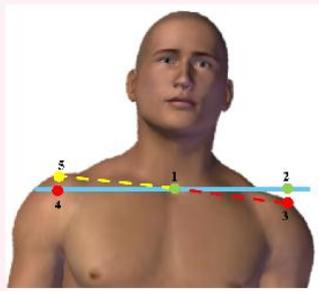
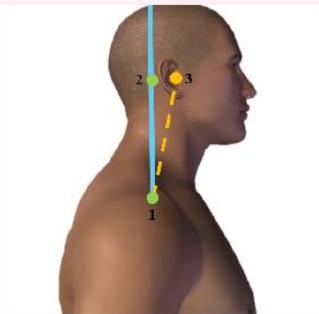
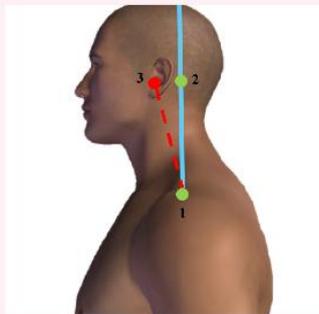
**Figura 18 Botones para reiniciar marcadores, botones para calcular los ángulos y los widgets de texto con los resultados de los ángulos y su valoración.**

Reiniciar Marcadores Frontal	Reiniciar Marcadores Sagital	Reiniciar Marcadores Sagital Izq
Calcular Ángulo Frontal	Calcular Ángulo Sagital Der	Calcular Ángulo Sagital Izq
Ángulo Der: 6.99° Sobrecarga Ángulo Izq: 3.85° Aceptable	Ángulo Sagital Der: 7.84° Aceptable	Ángulo Sagital Izq: 14.29° Sobrecarga

*Nota.* Posición de los botones para reiniciar los marcadores, calcular los ángulos y los resultados en cada plano. Fuente: Propia.

En la Figura 19 se muestra la guía que se incluye en la interfaz de usuario.

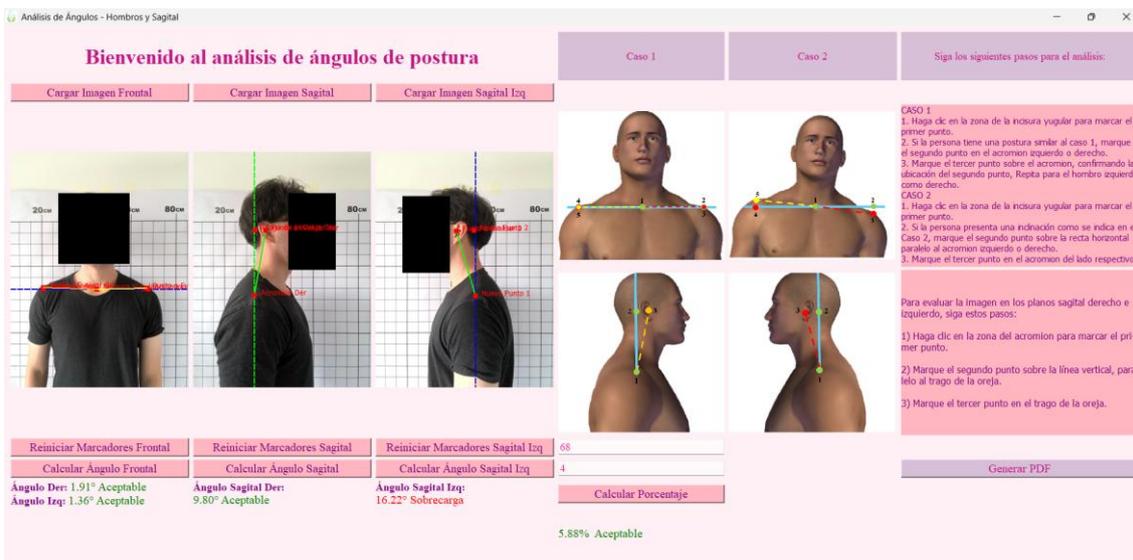
Figura 19 Imágenes de referencia con su texto guía.

Caso 1	Caso 2	Siga los siguientes pasos para el análisis:
		<p><b>CASO 1</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Haga clic en la zona de la incisure yugular para marcar el primer punto.</li> <li>2. Si la persona tiene una postura similar al caso 1, marque el segundo punto en el acromion izquierdo o derecho.</li> <li>3. Marque el tercer punto sobre el acromion, confirmando la ubicación del segundo punto, Repita para el hombro izquierdo como derecho.</li> </ol> <p><b>CASO 2</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Haga clic en la zona de la incisure yugular para marcar el primer punto.</li> <li>2. Si la persona presenta una inclinación como se indica en el Caso 2, marque el segundo punto sobre la recta horizontal paralelo al acromion izquierdo o derecho.</li> <li>3. Marque el tercer punto en el acromion del lado respectivo.</li> </ol>
		<p>Para evaluar la imagen en los planos sagital derecho e izquierdo, siga estos pasos:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Haga clic en la zona del acromion para marcar el primer punto.</li> <li>2) Marque el segundo punto sobre la línea vertical, paralelo al trago de la oreja.</li> <li>3) Marque el tercer punto en el trago de la oreja.</li> </ol>

Nota. Imágenes de referencia indicaciones para la interfaz de usuario. Fuente: Propia.

En la Figura 20 se visualiza la interfaz completa para realizar el análisis de los ángulos y el cálculo del peso de la mochila.

Figura 20 Interfaz de la herramienta Paty.



Nota. Interfaz de usuario de la herramienta Paty. Fuente: Propia.

#### **6.4 Guía para el uso de la herramienta Paty para la evaluación biomecánica de sobrecargas en la región cervical**

A continuación, se describen los pasos para utilizar la herramienta:

**Como primer paso se deben cargar las imágenes con las siguientes opciones:**

- a) Cargar imagen en el plano Frontal
- b) Cargar imagen en el plano Sagital Derecho
- c) Cargar imagen en el plano Sagital Izquierdo

Seleccione la imagen desde el directorio predeterminado y cárguela en la interfaz según corresponda

#### **Marcación de Puntos**

Para definir los ángulos es necesario indicar puntos estratégicos en las imágenes de los diferentes planos.

**Imagen en el Plano Frontal: Se deberán marcar cinco puntos mediante clics en las zonas indicadas en la imagen de referencia**

- a) El primer punto es en la incisura yugular. Al seleccionar esta área, se genera una recta horizontal como guía para la colocación del segundo y cuarto punto.
- b) El segundo y cuarto punto deben ir sobre la recta horizontal, paralelo al acromion si el sujeto presenta inclinación, o sobre la recta que pasa por el acromion si tiene una postura cercana a 0°.
- c) El tercer y quinto punto se colocarán en el acromion si existe inclinación. En caso contrario, el tercer punto irá sobre el segundo punto confirmando el acromion y el quinto sobre el cuarto punto.

**Imágenes en el Plano Sagital: Se deberán colocar tres puntos**

- a) El primer punto es en la vista sagital del acromion.
- b) El segundo punto va sobre la recta vertical paralela al trago de la oreja.
- c) El tercer punto es en el trago de la oreja.

Para la correcta ubicación de los puntos descritos, en la parte superior derecha se encuentran imágenes guías de referencia y en el caso de haber cometido algún error, se podrá reiniciar la marcación utilizando los botones de "Reiniciar marcadores".

**Cálculo de Ángulos con las opciones:**

- a) Calcular ángulo en plano frontal

- b) Calcular ángulo en plano sagital derecho
- c) Calcular ángulo en plano sagital izquierdo

Una vez realizado este paso, los resultados se mostrarán como "Aceptable" o "Sobrecarga" según los valores obtenidos. El manual de usuario se encuentra en el Anexo 1.

**Cálculo del Peso de la Mochila:** Para este paso, se ingresa el peso corporal y el peso de la mochila, luego presione "Calcular porcentaje" para obtener la evaluación correspondiente.

**Generación de Reporte:** Presione el botón "Generar reporte" para obtener un archivo PDF con los resultados.

### 6.3 Evaluación de la plataforma con la metodología FMEA

Con el objetivo de identificar, analizar y priorizar los posibles modos de falla en el proceso de evaluación postural con base en tres criterios clave: Severidad (S), Ocurrencia (O) y Detección (D) se aplicó la metodología FMEA (Failure Mode and Effects Analysis). A través del cálculo del Número de Prioridad de Riesgo ( $NPR = S \times O \times D$ ), es posible determinar los fallos más críticos que requieren acciones correctivas inmediatas para reducir su impacto en la calidad y fiabilidad del sistema. A través de este enfoque, se identifican las vulnerabilidades del sistema, priorizando aquellas que pueden comprometer su funcionalidad y desempeño.

En la Tabla 3 se presentan los cinco modos de fallos potenciales de la plataforma y la evaluación de las causas.

**Tabla 3. Identificación de Modos de Fallo**

Fallos Potenciales	Descripción de la Falla	Causas
Error en la colocación de los puntos de referencia para el cálculo de los Ángulos Posturales.	Los resultados de los ángulos posturales pueden ser incorrectos debido a la colocación inadecuada de los puntos de referencia anatómicos en la imagen a analizar, esto nos daría datos inexactos sobre la evaluación postural del usuario.	Errores en la calibración del software de análisis postural, marcadores anatómicos mal ubicados en el sujeto de estudio y variabilidad en la posición del usuario durante la medición.
Errores en el Cálculo del Peso Relativo de la Mochila.	El cálculo del porcentaje de peso de la mochila con respecto al peso corporal puede ser incorrecto debido a errores en la medición de los valores de entrada, obteniendo resultados erróneos que pueden afectar la interpretación de los efectos biomecánicos de la carga.	Fallos en la balanza utilizada para medir el peso corporal y de la mochila, introducción incorrecta de datos en el sistema y desviaciones en la precisión de los cálculos.

Fallos en la Visualización y Almacenamiento de Datos.	La herramienta puede presentar errores al mostrar o guardar los resultados de la evaluación provocando la pérdida de información o datos erróneos que afectan la confiabilidad del análisis.	Errores en la programación de la plataforma, problemas en la comunicación entre sensores y software y almacenamiento insuficiente o fallos en el guardado de archivos.
Variabilidad en la Postura del Usuario durante la Evaluación.	El usuario puede modificar voluntariamente su postura entre las mediciones, lo que genera variabilidad en la colocación de los puntos de referencia lo que genera discrepancias en los valores registrados, afectando la confiabilidad del análisis.	Falta de instrucciones claras al usuario, movimiento involuntario durante la captura de los datos y factores externos como fatiga o incomodidad.
Variabilidad en la posición de la cámara para la captura de las fotografías.	La posición de la cámara durante la toma de fotografías puede variar entre mediciones, afectando la precisión en la identificación de los ángulos posturales. Diferencias en la altura, inclinación o distancia de la cámara con respecto al sujeto pueden generar inconsistencias en la medición de los valores angulares ocasionando distorsión en los datos posturales, dificultando la comparación entre mediciones y comprometiendo la validez del análisis biomecánico.	Falta de un soporte fijo o de referencia para la colocación de la cámara, diferentes condiciones de iluminación y perspectiva en cada captura y errores humanos al posicionar la cámara en cada evaluación.

*Nota.* Tabla de fallos potenciales con su descripción y causas.

En la Tabla 4 se presentan los cinco modos de fallos potenciales de la plataforma y los efectos.

**Tabla 4. Evaluación de Efectos**

<b>Fallos Potenciales</b>	<b>Efectos directos</b>	<b>Efectos indirectos</b>
Error en la colocación de los puntos de referencia para el cálculo de los ángulos posturales.	Obtención de ángulos incorrectos, lo que compromete la validez de los resultados y evaluaciones posturales inexactas, generando posibles diagnósticos erróneos.	Repetición innecesaria de mediciones, aumentando el tiempo del análisis y pérdida de confianza en la herramienta por parte de los usuarios y profesionales.
Errores en el cálculo del peso relativo de la mochila.	Obtención de porcentajes de carga incorrectos, lo que puede llevar a conclusiones erróneas sobre el impacto del peso en la postura y datos inconsistentes que dificultan la comparación entre sujetos o mediciones.	Posible implementación de medidas inefectivas para reducir el impacto de la mochila y reducción de la confiabilidad del estudio y de la plataforma como herramienta de análisis biomecánico.
Fallos en la visualización y almacenamiento de datos	Pérdida de información relevante para el análisis postural y imposibilidad de acceder a datos históricos para comparaciones longitudinales.	Necesidad de repetir mediciones, incrementando el tiempo y los recursos requeridos y dificultad en la validación de resultados debido a la falta de trazabilidad de los datos.

Variabilidad en la postura del usuario durante la evaluación	Inconsistencias en la medición de los ángulos posturales y datos erróneos que pueden llevar a diagnósticos incorrectos.	Falta de repetibilidad en las mediciones, reduciendo la confiabilidad de la plataforma y dificultad en la comparación de datos entre usuarios o sesiones de evaluación.
Variabilidad en la posición de la cámara para la captura de las fotografías	Distorsión en la imagen que afecta la identificación precisa de los ángulos e imposibilidad de mantener una referencia estándar entre mediciones.	Incremento en la incertidumbre de los datos obtenidos y reducción en la credibilidad de la herramienta como método de evaluación biomecánica.

*Nota.* Tabla de fallos potenciales con sus efectos directos e indirectos.

#### 6.4 Modos de fallo

A continuación, se presenta el análisis de causa de los modos de fallo.

**Tabla 5.** *Análisis de modos de fallo*

<b>Modo de fallo</b>	<b>Posibles causas</b>
Error en la colocación de los puntos de referencia para el cálculo de los ángulos posturales	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Errores en la calibración del software de análisis postural.</li> <li>- Ubicación incorrecta de los marcadores anatómicos.</li> <li>- Variabilidad en la postura del usuario.</li> <li>- Falta de capacitación del operador.</li> </ul>
Errores en el cálculo del peso relativo de la mochila	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fallos en la calibración de la balanza.</li> <li>- Introducción de datos incorrecta.</li> <li>- Desviaciones en la precisión de los cálculos.</li> <li>- Factores externos como ropa, accesorios o postura del usuario.</li> </ul>
Fallos en la visualización y almacenamiento de datos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Errores en la programación de la plataforma.</li> <li>- Problemas en la comunicación entre sensores y software.</li> <li>- Fallos en el guardado de archivos o almacenamiento insuficiente.</li> <li>- Interrupciones eléctricas o fallos en el hardware.</li> </ul>
Variabilidad en la postura del usuario durante la evaluación.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Falta de instrucciones claras.</li> <li>- Movimiento involuntario durante la captura de datos.</li> <li>- Factores externos como fatiga o distracciones.</li> <li>- Tiempo prolongado entre mediciones.</li> </ul>
Variabilidad en la posición de la cámara para la captura de fotografías.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Falta de soporte fijo o referencia estable.</li> <li>- Diferencias en iluminación y perspectiva.</li> <li>- Errores humanos en la colocación de la cámara.</li> <li>- Uso de dispositivos de captura con distintas especificaciones.</li> </ul>

*Nota:* La identificación de los modos de fallo permite abordar de manera preventiva los errores que afectan la precisión y confiabilidad del análisis postural.

#### Determinación de Severidad, Ocurrencia y Detección

Se debe asignar un valor numérico a la severidad, la ocurrencia y la capacidad de detección para cada modo de fallo, utilizando las siguientes escalas: de 1 a 4 para la severidad, de 1 a 6 para la probabilidad de ocurrencia y de 1 a 10 para la capacidad de detección. Justifique sus elecciones.

En la Tabla 6 se indica a detalle las escalas.

**Tabla 6. Escalas para la determinación de severidad, ocurrencia y detección**

Modo de Fallo	Severidad (S)	Ocurrencia (O)	Detección (D)	Justificación
Error en la colocación de los puntos de referencia para el cálculo de los ángulos posturales	3	4	7	Puede generar datos incorrectos que afectan la evaluación postural. Ocurre con frecuencia si el operador no está bien capacitado. Es difícil de detectar porque los errores pueden pasar desapercibidos hasta el análisis.
Errores en el cálculo del peso relativo de la mochila	3	3	5	Afecta la precisión del análisis biomecánico. No ocurre tan frecuentemente si la balanza es precisa y los datos se ingresan correctamente. Puede ser detectado revisando los valores manualmente.
Fallos en la visualización y almacenamiento de datos	4	2	8	Puede causar pérdida de información crítica, afectando toda la evaluación. No es muy frecuente, pero es difícil de detectar antes de que ocurra una pérdida de datos.
Variabilidad en la postura del usuario durante la evaluación	2	5	6	Puede generar variabilidad en las mediciones. Es frecuente si no se dan instrucciones claras. Es moderadamente difícil de detectar porque los cambios pueden ser sutiles.
Variabilidad en la posición de la cámara para la captura de las fotografías	3	4	7	Afecta la precisión de los ángulos medidos. Puede ocurrir con frecuencia si no hay un soporte fijo para la cámara. Es difícil de detectar hasta que se comparan varias imágenes.

Nota: Severidad (S) 1: Impacto menor, sin afectar el análisis; 2: Impacto moderado, afecta algunos datos; 3: Impacto significativo, compromete la validez de los resultados; 4: Impacto crítico, invalida completamente los resultados; Ocurrencia (O) 1: Muy raro; 2: Poco frecuente; 3: Moderado; 4: Frecuente; 5: Muy frecuente; 6: Casi seguro; Detección (D) 1: Fácilmente detectable; 5: Detección moderada; 10: Difícil de detectar.

En la Tabla 7 se describe el valor de RPN asignado con base a la Tabla 6. NPR (Número de Prioridad de Riesgo) se obtiene como el producto de la Severidad (S), Ocurrencia (O) y Detección (D) de cada modo de fallo. Valores más altos indican mayores riesgos en el proceso de evaluación

biomecánica y postural, destacando la importancia de mitigar errores en la colocación de puntos de referencia y la captura de imágenes, que presentan los valores más críticos.

**Tabla 7. Cálculo del Número de Prioridad de Riesgo (RPN)**

ETAPA	MODO DE FALLO	S	O	D	NPR
Evaluación postural	Error en la colocación de los puntos de referencia para el cálculo de los ángulos posturales	3	4	7	84
Análisis Biomecánico	Errores en el cálculo del peso relativo de la mochila	3	3	5	45
Registro de datos	Fallos en la visualización y almacenamiento de datos	4	2	8	64
Evaluación del usuario	Variabilidad en la postura del usuario durante la evaluación	2	5	6	60
Captura de imágenes	Variabilidad en la posición de la cámara para la captura de las fotografías	3	4	7	84

*Nota:* NPR (Número de Prioridad de Riesgo) se obtiene como el producto de la Severidad (S), Ocurrencia (O) y Detección (D) de cada modo de fallo.

En la Tabla 8 se describen las prioridades por etapas de cada modo de fallo además de su NPR. Los errores en la colocación de puntos de referencia y la posición de la cámara requieren mayor atención (NPR: 84), seguidos por fallos en almacenamiento de datos (NPR: 64) y variabilidad en la postura del usuario (NPR: 60).

**Tabla 8. Análisis de Prioridades**

PRIORIDAD	ETAPA	MODO DE FALLO	S	O	D	NPR
1	Evaluación postural	Error en la colocación de los puntos de referencia para el cálculo de los ángulos posturales	3	4	7	84
1	Análisis Biomecánico	Errores en el cálculo del peso relativo de la mochila	3	3	5	45
3	Registro de datos	Fallos en la visualización y almacenamiento de datos	4	2	8	64
4	Evaluación del usuario	Variabilidad en la postura del usuario durante la evaluación	2	5	6	60
5	Captura de imágenes	Variabilidad en la posición de la cámara para la captura de las fotografías	3	4	7	84

*Nota:* La priorización de los modos de fallo se basa en su impacto en la precisión del análisis.

En la Tabla 9 se detallan los modos de falla más críticos que requieren atención prioritaria.

**Tabla 9. Modos de falla más críticos que requieren atención prioritaria**

<b>Modo de falla</b>	<b>Impacto</b>	<b>Dificultad de detección</b>	<b>NPR</b>
Error en la colocación de los puntos de referencia para el cálculo de los ángulos posturales	Datos incorrectos que afectan la evaluación postural.	Alta, especialmente si el operador no está capacitado.	84
Error en la colocación de los puntos de referencia para el cálculo de los ángulos posturales	Distorsión en la medición de ángulos, afectado la precisión del análisis.	Difícil de detectar hasta que se comparan varias imágenes.	84
Fallos en la visualización y almacenamiento de datos	Posible pérdida de información crítica, comprometiendo la evaluación completa.	Difícil de detectar antes de que ocurra la pérdida de datos.	64

*Nota:* Los modos de fallo con mayor NPR (84) requieren atención prioritaria, ya que afectan directamente la precisión del análisis postural. La pérdida de datos (NPR: 64) también es crítica, ya que compromete la evaluación completa y es difícil de detectar antes de que ocurra.

En la Tabla 10 se presenta la propuesta de acciones correctivas. Las acciones correctivas propuestas buscan reducir la ocurrencia y mejorar la detección de los modos de falla más críticos. La capacitación y el uso de referencias visuales estandarizan la colocación de puntos de referencia (NPR: 84), mientras que la instalación de soportes fijos y marcas en el suelo minimiza la variabilidad en la posición de la cámara (NPR: 84). Además, la implementación futura de un sistema de respaldo automático de datos (NPR: 64) mitigará la pérdida de información crítica.

**Tabla 10. Propuesta de acciones correctivas**

<b>MODO FALLA</b>	<b>DE</b>	<b>ACCIÓN CORRECTIVA</b>	<b>JUSTIFICACIÓN E IMPACTO ESPERADO</b>
Error en la colocación de los puntos de referencia para el cálculo de los ángulos posturales (NPR: 84)		Capacitación a los usuarios en la correcta colocación de puntos de referencia, además el software ya cuenta con imágenes guía.	-Por parte de las investigadoras, se realizarán entrenamientos a los usuarios al momento de adquirir o usar la herramienta, estos entrenamientos serán con guías visuales y ejemplos prácticos para estandarizar el proceso. - Reducción de ocurrencia (O): Un usuario capacitado cometerá menos errores. - Mejora en detección (D): Se hará una doble verificación antes de capturar los datos.
Variabilidad en la posición de la cámara para la captura de las		Instalación de soportes fijos y marcas en el suelo para la cámara.	- Desde un inicio se implementó un protocolo de Montaje de escenario en el Laboratorio de Ingeniería Clínica, Hospitalaria y de Rehabilitación, en donde indica la correcta colocación de soportes ajustables (trípodes) para

fotografías (NPR: 84)		asegurar que la cámara mantenga siempre la misma posición. - También se marcó el suelo para que el usuario siempre se ubique en el mismo punto. - Reducción de ocurrencia (O): Evitar cambios involuntarios en la posición del trípode de la cámara.
Fallos en la visualización y almacenamiento de datos (NPR: 64)	Implementación de un sistema de respaldo automático de datos	- En un futuro se podría configurar un sistema que guarde copias de seguridad cada cierto tiempo. - Y generar alertas en caso de pérdida o corrupción de datos. - Reducción de severidad (S): La información crítica podrá recuperarse en caso de falla. - Mejora en detección (D): Se podrá generar notificaciones cuando ocurra un error.

*Nota:* Las acciones correctivas propuestas buscan reducir la ocurrencia y mejorar la detección de los modos de falla más críticos.

En la Tabla 11 se describe un plan de implementación para reducir errores en la medición de ángulos posturales, mejorando la precisión y confiabilidad.

**Tabla 11. Plan de Implementación para corrección de errores en la colocación de puntos de referencia**

Elemento	Acción Correctiva / Implementación
Acción correctiva	Capacitación en la correcta colocación de puntos de referencia, con apoyo de imágenes guía en el software.
Pasos de implementación	<b>1. Desarrollo del material de capacitación:</b> Creación de un manual con instrucciones claras y ejemplos visuales, incluyendo imágenes guía en el software. <b>2. Entrenamiento a usuarios:</b> Sesiones prácticas impartidas por investigadores con ejemplos de diferentes posturas. <b>3. Sistema de doble verificación:</b> Instrucción a los usuarios para revisar visualmente antes de capturar datos; posible implementación futura de una función de confirmación en el software. <b>4. Evaluación del proceso:</b> Aplicación de pruebas antes y después de la capacitación para medir mejoras en precisión y recoger retroalimentación.
Recursos necesarios	- Manuales digitales e impresos con imágenes guía. - Software con imágenes de referencia actualizadas. - Laboratorio de Ingeniería Clínica, Hospitalaria y de Rehabilitación. - Tiempo del personal investigador para la capacitación.

*Nota :* La correcta implementación de este plan reducirá errores en la medición de ángulos posturales.

En la Tabla 12 se presenta el plan de Implementación para la reducción de la variabilidad en la posición de la cámara (NPR: 84).

**Tabla 12. Plan de Implementación para la reducción de la variabilidad en la posición de la cámara.**

<b>Elemento</b>	<b>Acción Correctiva / Implementación</b>
Acción correctiva	Instalación de soportes fijos y marcas en el suelo para estandarizar la posición de la cámara.
Pasos de implementación	<p><b>1. Implementación del protocolo de colocación:</b> Difusión y aplicación del protocolo de montaje para la correcta ubicación de los soportes ajustables (trípodes), garantizando su uso estandarizado.</p> <p><b>2. Colocación de marcas en el suelo:</b> Uso de cinta adhesiva o vinilos para marcar la posición exacta de la cámara y del usuario, con revisiones periódicas para asegurar su visibilidad y precisión.</p> <p><b>3. Monitoreo del cumplimiento del protocolo:</b> Verificación previa a cada evaluación por parte de las investigadoras y auditorías visuales en caso de uso fuera del laboratorio.</p>
Recursos necesarios	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Trípodes o soportes ajustables.</li> <li>- Cinta adhesiva o vinilos para marcar posiciones.</li> <li>- Documento del protocolo de colocación.</li> <li>- Supervisión por parte de las investigadoras.</li> </ul>

*Nota:* La implementación de este plan garantizará una ubicación consistente de la cámara, mejorando la precisión en la captura de imágenes para el análisis postural.

En la Tabla 13 se describe el plan respecto a los fallos en la visualización y almacenamiento de datos (NPR: 64).

**Tabla 13. Plan de Implementación de fallos en la visualización y almacenamiento de datos.**

<b>Elemento</b>	<b>Acción Correctiva / Implementación</b>
Acción correctiva	Implementación de un sistema de respaldo automático de datos en caso de futuras incidencias de pérdida de información.
Pasos de implementación	<p><b>1. Evaluación de soluciones de respaldo:</b> Análisis de opciones para copias de seguridad en servidores locales o en la nube, determinando la frecuencia y el tipo de almacenamiento.</p> <p><b>2. Configuración del sistema de respaldo:</b> Desarrollo o integración de un sistema que realiza respaldos automáticos y permite una restauración rápida en caso de pérdida de datos.</p> <p><b>3. Implementación de alertas y monitoreo:</b> Configuración de notificaciones automáticas en caso de fallos en la sincronización o almacenamiento, con protocolos de acción en caso de errores detectados.</p> <p><b>4. Pruebas y validación:</b> Ejecución de pruebas periódicas para verificar la efectividad del respaldo, junto con la capacitación del personal en recuperación de datos.</p>
<b>Recursos Necesarios</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Software o servicio de almacenamiento en la nube.</li> <li>- Configuración de servidores locales (si es necesario).</li> <li>- Personal técnico para implementación.</li> <li>- Manuales de procedimiento para respaldo y recuperación de datos.</li> </ul>

*Nota:* La implementación de este plan reducirá el riesgo de pérdida de información crítica y garantizará la integridad de los datos almacenados.

Se identificaron cinco modos de falla principales, de los cuales dos alcanzaron el NPR más alto (84), lo que indica que representan los riesgos más significativos dentro del proceso. Estos modos de falla están relacionados con la correcta colocación de puntos de referencia para el análisis postural y la variabilidad en la posición de la cámara, los cuales afectan directamente la precisión de los resultados.

Asimismo, se detectó que los fallos en la visualización y almacenamiento de datos (NPR 64) también representan un riesgo considerable, aunque con menor impacto en comparación con los dos anteriores.

Los fallos con NPR de 84 requieren acciones inmediatas, ya que afectan la precisión del análisis postural y pueden generar errores difíciles de detectar.

El fallo con NPR de 64 se debe abordar en un plazo medio, aunque su severidad es alta, su detección y mitigación son más viables mediante soluciones tecnológicas.

Para garantizar la eficiencia de las acciones correctivas se plantea:

- La implementación de capacitación a los usuarios, combinada con guías visuales dentro del software, fortalecerá la precisión en la colocación de los puntos de referencia, reduciendo la ocurrencia y mejorando la detección de errores.
- La estandarización de la posición de la cámara mediante soportes fijos y marcas en el suelo minimizará la variabilidad y garantizará que las evaluaciones sean consistentes.
- La automatización de los respaldos de datos permitirá evitar pérdidas de información y garantizará la integridad del sistema a largo plazo.

#### **6.4 Protocolo para la captación de imágenes para la evaluación biomecánica de la sobrecarga en la región cervical**

Para evaluar la plataforma se diseñó y ejecutó el siguiente protocolo.

##### **Vestimenta**

Se solicita al participante no utilizar zapatos con plataformas y usar ropa que no sea holgada, la vestimenta debe de ser de colores diferentes al blanco y negro para evitar confusiones con los colores de la cuadrícula postural.

A quienes tengan cabello largo, se pide recoger el cabello para permitir una visión clara de los lóbulos de las orejas.

### **Posicionamiento en la cuadrícula**

Se solicita al participante ubicarse frente a la cámara, en la línea media de la cuadrícula, identificada con color rojo.

Se deben mantener los pies ligeramente separados y adoptar una postura natural.

### **Iluminación**

Se debe aprovechar la luz natural proporcionada por las ventanas amplias del laboratorio y se complementó con la luz artificial generada por paneles LED en el techo, asegurando una distribución uniforme de luz blanca brillante.

### **Registro de Datos del Participante**

Se solicita al participante proporcionar la siguiente información.

1. Nombre completo
2. Peso del participante con mochila
3. Peso del participante sin mochila

Los datos se documentarán en un registro para su posterior análisis.

### **Disposición inicial**

Asegurarse de que el participante esté correctamente alineado con la cuadrícula antes de iniciar la captura.

El equipo de captura (trípode y cámara) previamente se configuró según las especificaciones descritas en el protocolo para el montaje del escenario.

### **Capturas realizadas**

Foto en el plano frontal y dos fotos en el plano sagital (izquierda y derecha) en las siguientes condiciones, con la mochila de uso diario del participante.

- a. De pies sin usar mochila
- b. De pie llevando la mochila con la correa izquierda.
- c. De pie llevando la mochila con la correa derecha.
- d. De pie llevando la mochila con las dos correas.

Se tomarán 12 fotos en total

### **Revisión**

Las imágenes obtenidas se deben revisar para asegurar claridad, visibilidad completa del participante y ausencia de distorsiones o cualquier otro factor que pueda interferir en el análisis de la postura.

Antes de realizar el análisis con la herramienta desarrollada se difuminará en las fotos el rostro de cada participante para salvaguardar su identidad.

### **6.5 Pruebas con participantes**

Para las pruebas se contó con la participación de 11 sujetos (8 hombres  $21,38 \pm 0,48$  años;  $174,63 \pm 6,24$  cm;  $72,45 \pm 16,54$  kg) y 3 mujeres ( $22,00 \pm 0,82$  años;  $159,33 \pm 0,98$  cm;  $55,48 \pm 6,30$  kg).

Se estimó un tiempo aproximado de 5 minutos por participante para completar la toma de fotografías, el registro de la edad, talla, peso corporal, y el peso de la mochila.

Antes de la captura de las imágenes, se informó a todos los participantes sobre los objetivos del estudio y se les proporcionó un consentimiento informado por escrito (Anexo 2), el cual firmaron antes de iniciar el proceso. Se les indicó que mantuvieran una postura natural y relajada al momento de la toma de fotografías y que llevaran sus mochilas con el peso que normalmente utilizan en su rutina diaria.

Para garantizar la uniformidad en la captura de imágenes se establecieron cuatro condiciones de evaluación: Sin Mochila (SM), Con Mochila (CM), Mochila en lado Derecho (MD) y Mochila en el lado Izquierdo (MI) en cada una de estas condiciones se capturaron 3 fotografías, fotografía 1 el participante se coloca de pie mirando hacia la cámara, fotografía 2 con una vista sagital derecha, el participante gira  $90^\circ$  hacia la derecha y fotografía 3 de una vista sagital izquierda en donde el participante gira  $180^\circ$  desde la segunda posición, Para el análisis de los ángulos se empleó la herramienta desarrollada en este estudio, y los resultados fueron registrados en Microsoft Excel 2024.

#### **Variables analizadas**

- a) Variables independientes: peso de mochila, lado del cuerpo en que se carga la mochila.
- b) Variables dependientes: inclinación del hombro.

#### **Criterios de evaluación**

Las fotografías fueron evaluadas usando la herramienta desarrollada teniendo en consideración la privacidad del participante. Los resultados obtenidos se contrastaron utilizando el software KINOVEA, el cual permitió analizar posibles errores de medición, ángulos de inclinación y validar los hallazgos observados en las fotografías.

## 7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En las Tablas 3, 4, 5 y 6 se muestran los ángulos medidos por la herramienta Paty y el software Kinovea en los 11 participantes en las condiciones: Sin Mochila (SM), Con Mochila (CM), Mochila en lado Derecho (MD) y Mochila en el lado Izquierdo (MI).

**Tabla 14.** Mediciones de los ángulos alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ), gamma ( $\gamma$ ) y delta ( $\delta$ ) con la herramienta Paty (P) y el software Kinovea (K) en la Condición Sin Mochila.

Condición Sin Mochila								
Participante	Plano Frontal Derecho $\alpha^\circ$		Plano Frontal Izquierdo $\beta^\circ$		Plano Sagital Derecho $\gamma^\circ$		Plano Sagital Izquierdo $\delta^\circ$	
	P	K	P	K	P	K	P	K
1	1,07	3,8	7,13	7,2	7,18	6,1	12,68	14,3
2	3,99	5,5	4,09	5,1	10,04	11,25	12,2	11,9
3	1,36	2	2,76	3,8	10,35	11,3	18,12	18,7
4	0,71	0,7	5	5,1	10,65	13,2	17,45	19,2
5	3,49	4,6	3,76	4,7	8,82	10,9	21,41	20,7
6	7,05	7,6	6,34	6,6	12,47	15,5	6,77	7,5
7	8,67	9,2	8,33	8,7	8,35	10,6	10,68	11,5
8	8,6	8,6	7,46	6,9	15,3	15	15,21	16,8
9	7,43	8,1	7,59	6,3	18,89	18,6	16,44	17,8
10	1,83	2,2	1,43	2,4	10,78	11,2	8,07	8,6
11	8,04	8,1	6,01	7,4	11,31	13,7	13,12	14

*Nota.* Ángulos medidos con la herramienta Paty y el software Kinovea en la condición sin mochila (SM), en los planos frontal y sagital derecho e izquierdo.

**Tabla 15.** Mediciones de los ángulos alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ), gamma ( $\gamma$ ) y delta ( $\delta$ ) con la herramienta Paty (P) y el software Kinovea (K) en la Condición Con Mochila.

Condición Con Mochila								
Participante	Plano Frontal Derecho $\alpha^\circ$		Plano Frontal Izquierdo $\beta^\circ$		Plano Sagital Derecho $\gamma^\circ$		Plano Sagital Izquierdo $\delta^\circ$	
	P	K	P	K	P	K	P	K
1	4,4	4,09	8,91	11,3	6,34	7,3	15,64	14,1
2	5,83	6,1	7,93	8,02	17,67	17,2	16,07	16
3	4,86	4,7	4,81	4,9	12,09	13,2	22,25	23,2
4	4,71	4,8	8,04	7,4	7,66	8,6	15,37	15,3
5	2,86	3,7	2,41	2,6	15,09	15,5	17,57	19,2
6	9,09	7,9	10,08	7,9	7,26	6	4,34	6,1
7	11,53	8,8	12,4	13,6	7,54	7,8	12,13	12,9
8	8,53	9	8,88	10,3	11,51	12,2	20,36	22,2
9	13,44	11,8	9,03	7	25,41	27,9	10,18	12,3
10	1,07	1,4	1,83	2,1	11,67	13,3	7,9	10,7
11	6,86	6,8	8,13	6,2	14,81	15,1	10,06	9,9

*Nota.* Ángulos medidos con la herramienta Paty y el software Kinovea en la condición con mochila (CM), en los planos frontal y sagital derecho e izquierdo.

**Tabla 16. Tabla de resultados de las mediciones de los ángulos alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ), gamma ( $\gamma$ ) y delta ( $\delta$ ) con la herramienta Paty (P) y el software Kinovea (K).**

Condición con Mochila Lado Derecho								
Participante	Plano Frontal Derecho $\alpha^\circ$		Plano Frontal Izquierdo $\beta^\circ$		Plano Sagital Derecho $\gamma^\circ$		Plano Sagital Izquierdo $\delta^\circ$	
	P	K	P	K	P	K	P	K
1	2,06	3,2	6,58	6,8	9,27	9	13,15	13,8
2	2,89	2,3	8,7	7,8	19,44	19,9	15,8	16,5
3	1,17	2,3	8,05	8,7	19,27	20,2	21,54	23
4	3,04	3,4	6,14	6,3	12,58	13,1	9,4	10,8
5	0	0,5	0,58	0	14,26	16,5	20,06	20,8
6	4,36	4,3	8,4	8,4	5,47	4,9	0,52	1
7	8,38	7,2	9,37	6,3	13,66	13,7	12,09	14,7
8	8,05	7,6	11,83	12,6	15,09	15,9	10,04	15,5
9	22,83	25,4	1,08	0,5	11,39	12,2	14,25	15,9
10	3,21	2,3	3,3	3,5	21,27	20,2	8,37	7,9
11	7,89	7,6	8,83	8,4	25,02	24,2	9,02	11,2

*Nota.* Ángulos medidos con la herramienta Paty y el software Kinovea en la condición con mochila en el lado derecho (MD), en los planos frontal y sagital derecho e izquierdo.

**Tabla 17. Tabla de resultados de las mediciones de los ángulos alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ), gamma ( $\gamma$ ) y delta ( $\delta$ ) con la herramienta Paty (P) y el software Kinovea (K).**

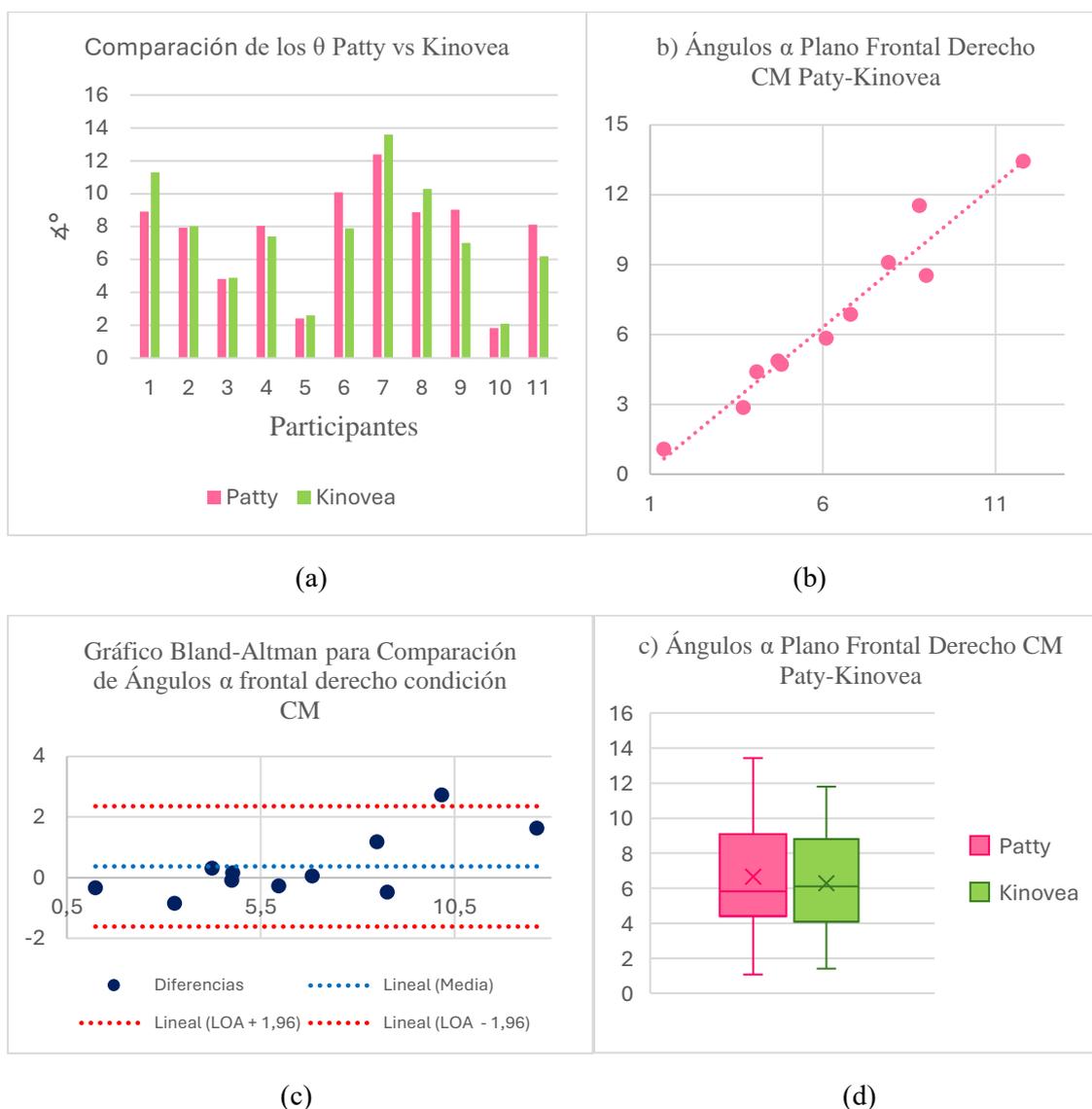
Condición con Mochila Lado Izquierdo								
Participante	Plano Frontal Derecho $\alpha^\circ$		Plano Frontal Izquierdo $\beta^\circ$		Plano Sagital Derecho $\gamma^\circ$		Plano Sagital Izquierdo $\delta^\circ$	
	P	K	P	K	P	K	P	K
1	6,34	6,2	6,67	6,9	8,75	8,3	13,39	14
2	4,71	7,5	6,4	6,4	9,78	9,2	12,37	13,7
3	2,7	3,9	3,81	3,4	14,72	14,9	22,91	24,1
4	3,54	3,3	5,3	5	9,69	11,9	18,15	18,3
5	7,25	6,2	1,11	1,6	16,43	16,5	22,54	24,7
6	10,36	9,2	4,4	3,9	6,61	6,8	11	11,3
7	9,37	12,1	8,21	8,2	4,43	4,7	9,03	12,9
8	10,01	9,5	4,44	4,1	8,53	10,6	27,12	29,6
9	4,24	4,5	22,58	22,2	31,11	31,2	8,71	7,9
10	5,49	4,9	0,56	1	10,12	12	10,85	11,5
11	13,8	13,7	7,13	7,3	18,96	18,7	17,32	18,3

*Nota.* Ángulos medidos con la herramienta Paty y el software Kinovea en la condición con mochila en el lado izquierdo (MI), en los planos frontal y sagital derecho e izquierdo.

Para el plano frontal derecho con mochila (CM), la Figura 21 (a) indica la precisión entre las mediciones de los ángulos obtenidos con la herramienta Paty y Kinovea, estos valores tienen una correlación de 0,969 con una diferencia promedio de 0,37°. La Figura 21 (b) muestra un gráfico de dispersión con la relación de los ángulos. En la Figura 21 (c) el gráfico de Bland-Altman indica que ocho mediciones presentan alta concordancia, mientras que diez se encuentran dentro de los

límites de acuerdo ( $LOA \pm 1,96$ ) y la Figura 21 (d) confirma que los datos siguen una distribución normal.

**Figura 21 Resultados con Paty y Kinovea en condición Con Mochila (CM); a) ángulos; b) diferencias entre las mediciones de los ángulos; c) dispersión de los datos; d) diagrama de cajas.**



*Nota.* Resultados de los ángulos  $\alpha$  medidos con la herramienta Paty y el software Kinovea en la condición con mochila (CM), en el plano frontal derecho.

En la condición con mochila del lado derecho (MD), la Figura 22 (a) muestra la variabilidad de los ángulos medidos con la herramienta Paty y el software Kinovea. Los datos presentan una correlación de 0,989 reflejando una fuerte relación entre ambas herramientas, con una diferencia promedio de 0,41°. En la Figura 22 (b), el gráfico de Bland-Altman evidencia que diez de las once mediciones presentan alta concordancia, estando dentro de los límites de acuerdo ( $LOA \pm 1,96$ ), con una excepción. En la Figura 22 (c) tenemos un gráfico de dispersión que muestra la relación

de los ángulos medidos por la herramienta Paty y el software Kinovea y en la Figura 22 (d) se puede evidenciar que la mayoría de los datos están dentro del rango esperado ya que solo hay un punto fuera de los límites de los bigotes para ambos casos.

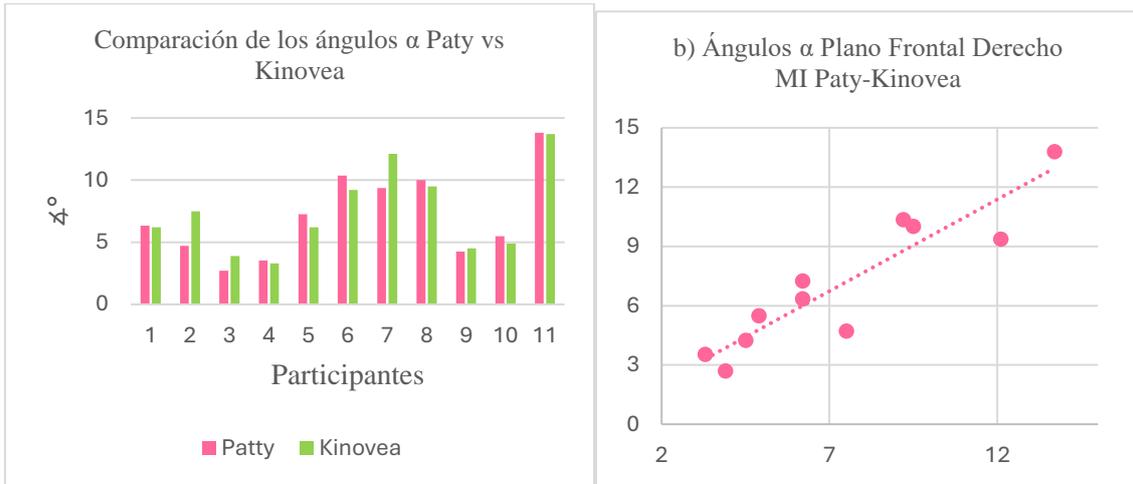
**Figura 22 Resultados con Paty y Kinovea en condición Mochila de lado Derecho (MD); a) ángulos; b) diferencias entre las mediciones de los ángulos; c) dispersión de los datos; d) diagrama de cajas.**



*Nota.* Resultados de los ángulos  $\alpha$  medidos con la herramienta Paty y el software Kinovea en la condición con mochila en el lado derecho (MD), en el plano frontal derecho.

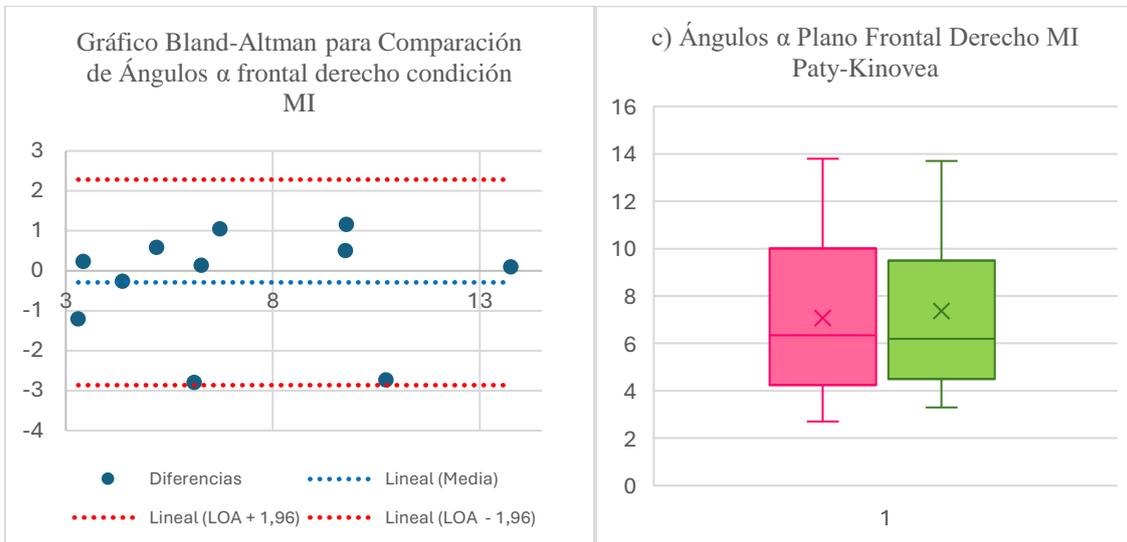
En la condición con mochila del lado izquierdo (MI), la Figura 23 (a) muestra la variabilidad de los ángulos medidos entre ambas herramientas, estos valores tienen una correlación de 0,919 indicando una fuerte relación entre Paty y Kinovea, con una diferencia promedio de 0,48°. En la Figura 23 (b) el gráfico de Bland-Altman muestra que todas las mediciones se encuentran dentro de los límites de acuerdo (LOA  $\pm 1,96$ ), y que seis de ellas presentan alta concordancia al estar cercanas a 0. La Figura 23 (c) muestra el gráfico de dispersión de los ángulos medidos, mientras que la Figura 23 (d) confirma que los datos siguen una distribución normal.

**Figura 23 Resultados con Paty y Kinovea en condición MI; a) ángulos; b) diferencias entre las mediciones de los ángulos; c) dispersión de los datos; d) diagrama de cajas.**



(a)

(b)



(c)

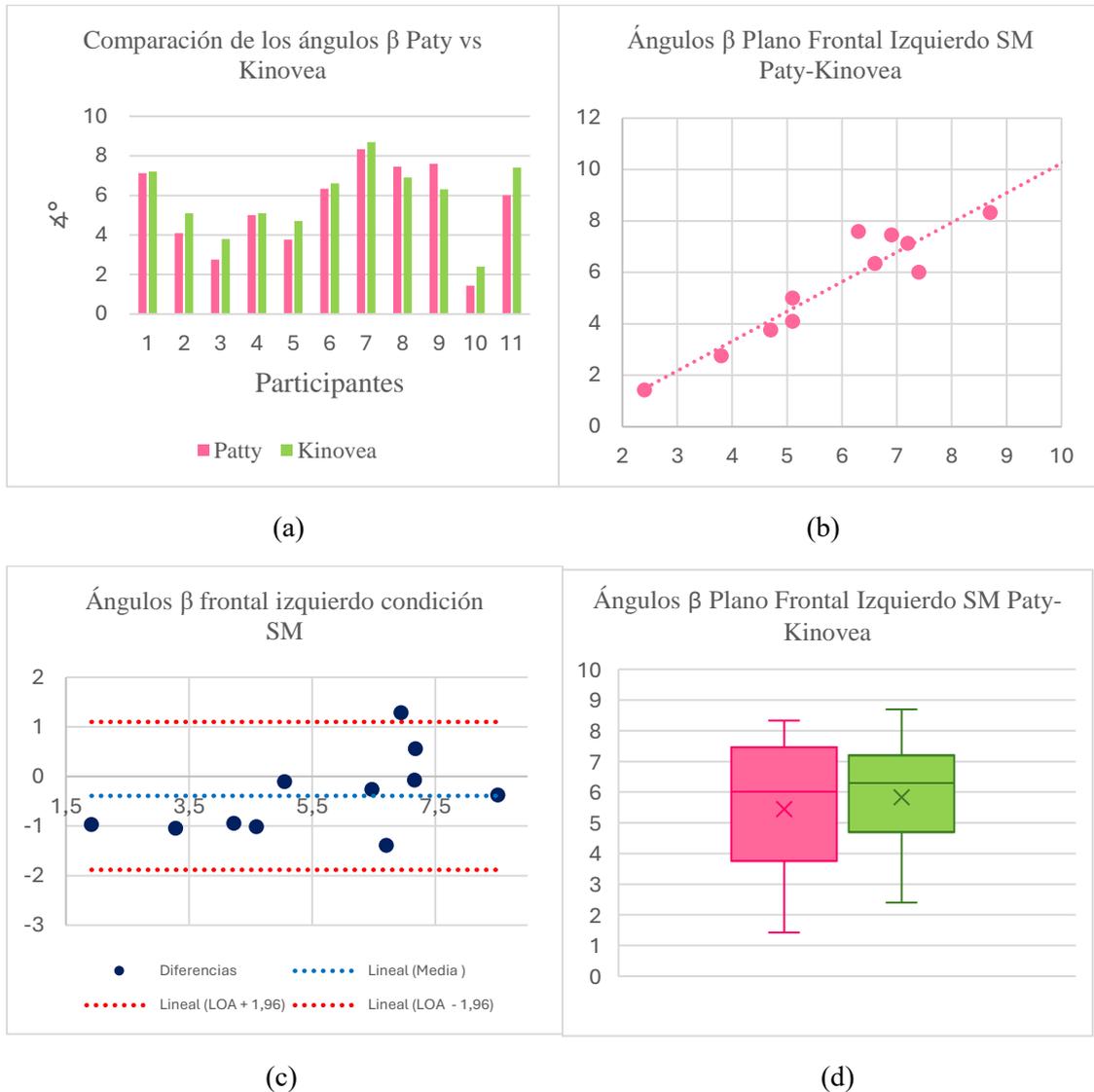
(d)

*Nota.* Resultados de los ángulos  $\alpha$  medidos con la herramienta Paty y el software Kinovea en la condición con mochila en el lado izquierdo (MI), en el plano frontal derecho.

La Figura 24 (a) muestra la variabilidad de los ángulos medidos con la herramienta Paty y el software Kinovea en el plano frontal izquierdo bajo la condición sin mochila (SM). Se obtiene una correlación de 0,941 lo que indica una fuerte relación entre los resultados de ambas mediciones, con una diferencia promedio de 0,727°, esto sugiere que ambas herramientas proporcionan resultados muy similares. En la Figura 24 (b) el gráfico de Bland-Altman revela que las diferencias entre las mediciones presentan una alta concordancia donde diez de sus valores caen dentro de los límites (LOA + 1,96) y (LOA - 1,96), a excepción de un valor atípico. En la Figura 24 (c) muestra la relación entre los ángulos medidos por ambas herramientas, mientras que

en la Figura 24 (d) se puede observar que los datos de ambas mediciones siguen una distribución normal.

**Figura 24 Resultados con Paty y Kinovea en condición sin mochila (SM); a) ángulos; b) diferencias entre las mediciones de los ángulos; c) dispersión de los datos; d) diagrama de cajas.**

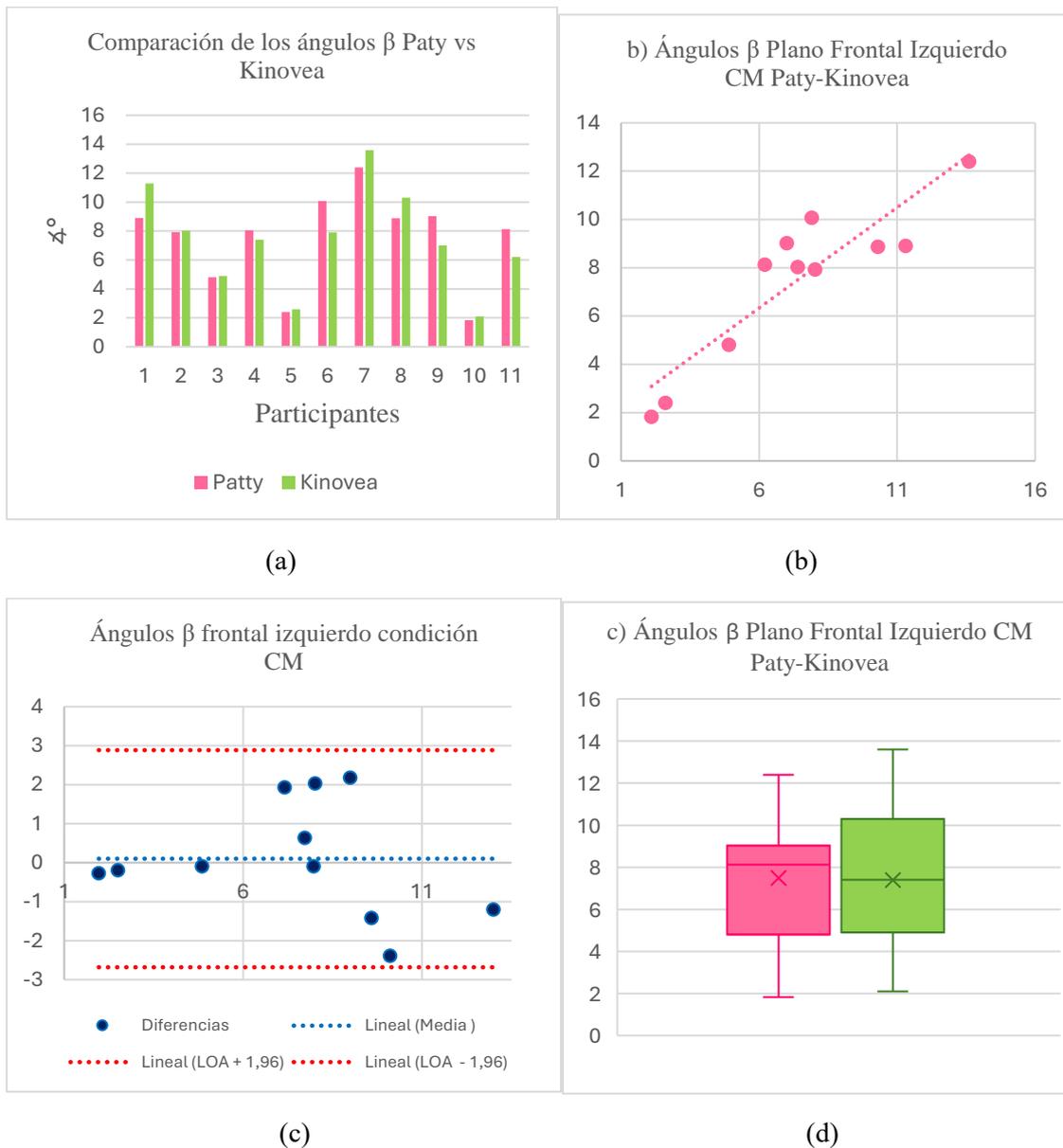


*Nota.* Resultados de los ángulos  $\beta$  medidos con la herramienta Paty y el software Kinovea en la condición sin mochila (SM), en el plano frontal izquierdo.

La Figura 25 (a) muestra la variabilidad de los ángulos medidos con la herramienta Paty y el software Kinovea en el plano frontal izquierdo, en la condición con mochila (CM). La correlación obtenida es de 0,904 indicando una fuerte relación entre los resultados, con una diferencia promedio de 1,13°. En la Figura 25 (b) el gráfico de Bland-Altman muestra que las diferencias entre mediciones presentan una buena concordancia, y todos los valores se encuentran dentro de los límites de acuerdo (LOA + 1.96) y (LOA - 1.96). En la Figura 25 (c) se presenta el gráfico de

dispersión que muestra la relación de los ángulos medidos por ambas herramientas, mientras que en la Figura 25 (d) se indica que los datos de ambas mediciones siguen una distribución normal.

**Figura 25 Resultados con Paty y Kinovea en condición CM; a) ángulos; b) diferencias entre las mediciones de los ángulos; c) dispersión de los datos; d) diagrama de cajas.**

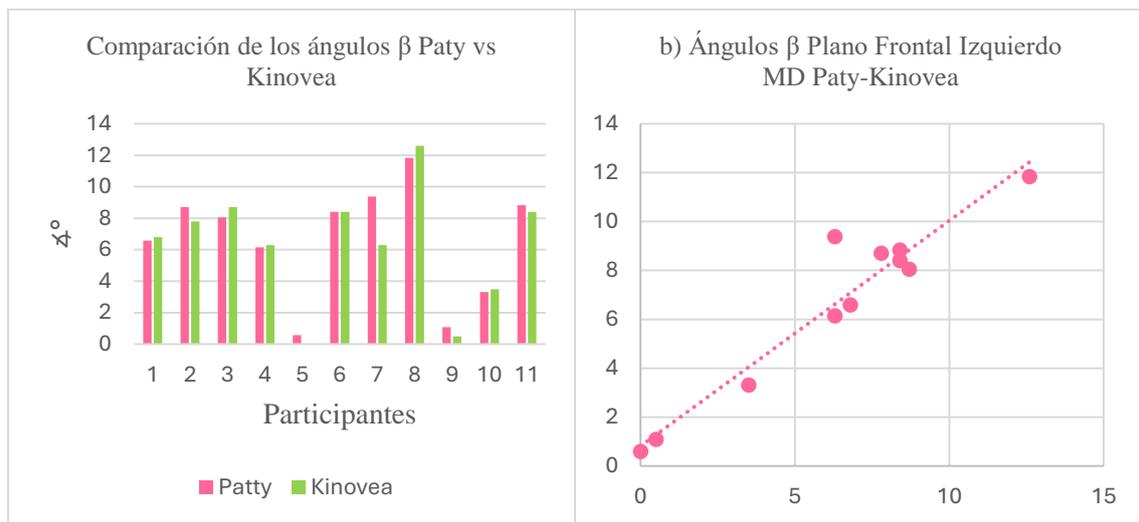


*Nota.* Resultados de los ángulos  $\beta$  medidos con la herramienta Paty y el software Kinovea en la condición con mochila (CM), en el plano frontal izquierdo.

La Figura 26 (a) presenta la variabilidad de los ángulos medidos con la herramienta Paty y el software Kinovea en el plano frontal izquierdo bajo la condición con mochila en el lado derecho (MD), en este caso la correlación obtenida es de 0,959 lo que indica una fuerte relación entre los resultados, con una diferencia promedio de 0,34°. En la Figura 26 (b) el gráfico de Bland-Altman

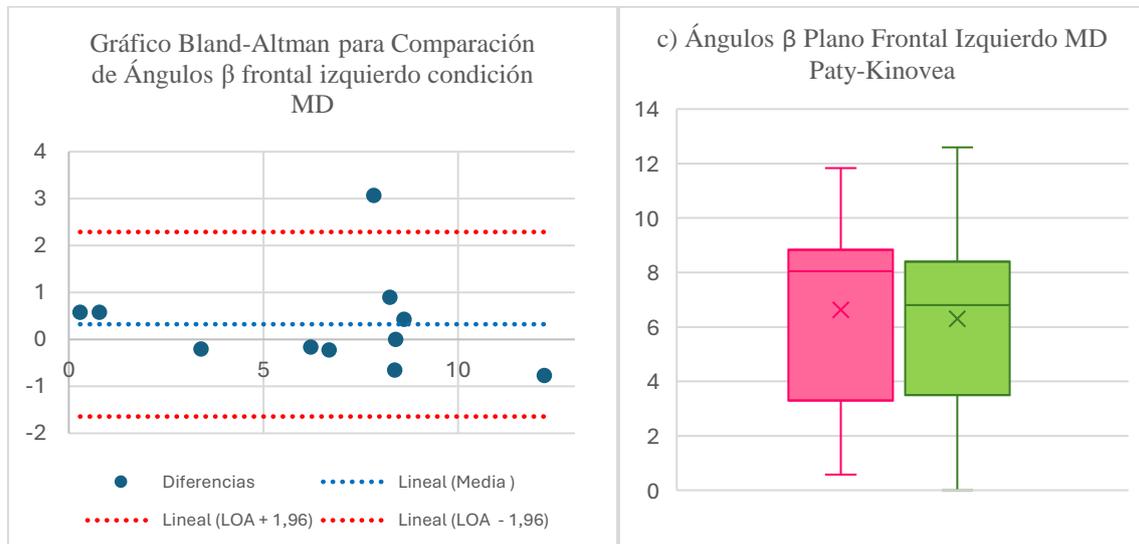
muestra una excelente concordancia entre nueve de las mediciones, con la mayoría de los valores dentro de los límites de acuerdo (LOA + 1.96) y (LOA - 1.96), excepto uno. La Figura 26 (c) muestra el gráfico de dispersión que visualiza la relación entre los ángulos medidos, mientras que Figura 26 (d) revela que los datos presentan una distribución normal.

**Figura 26 Resultados con Paty y Kinovea en condición MD; a) ángulos; b) diferencias entre las mediciones de los ángulos; c) dispersión de los datos; d) diagrama de cajas.**



(a)

(b)



(c)

(d)

*Nota.* Resultados de los ángulos  $\beta$  medidos con la herramienta Paty y el software Kinovea en la condición con mochila en el lado derecho (MD), en el plano frontal izquierdo.

La Figura 27 (a) muestra la variabilidad de los ángulos medidos con la herramienta Paty y el software Kinovea en el plano frontal izquierdo, en la condición con mochila en el lado izquierdo (MI). La correlación es 0,998 indicando una relación muy fuerte entre las mediciones, con una

diferencia promedio de  $0,14^\circ$ . En la Figura 27 (b) el gráfico de Bland-Altman revela que las diferencias entre las mediciones muestran una excelente concordancia, con la mayoría de los valores muy cercanos a cero en el eje Y, y todos los valores dentro de los límites de acuerdo (LOA + 1.96) y (LOA - 1.96). La Figura 27 (c) presenta el gráfico de dispersión que muestra la relación entre los ángulos medidos por ambas herramientas, y en la Figura 27 (d) se observa que la mayoría de los datos están dentro del rango esperado ya que solo hay un punto fuera de los límites de los bigotes para ambos casos.

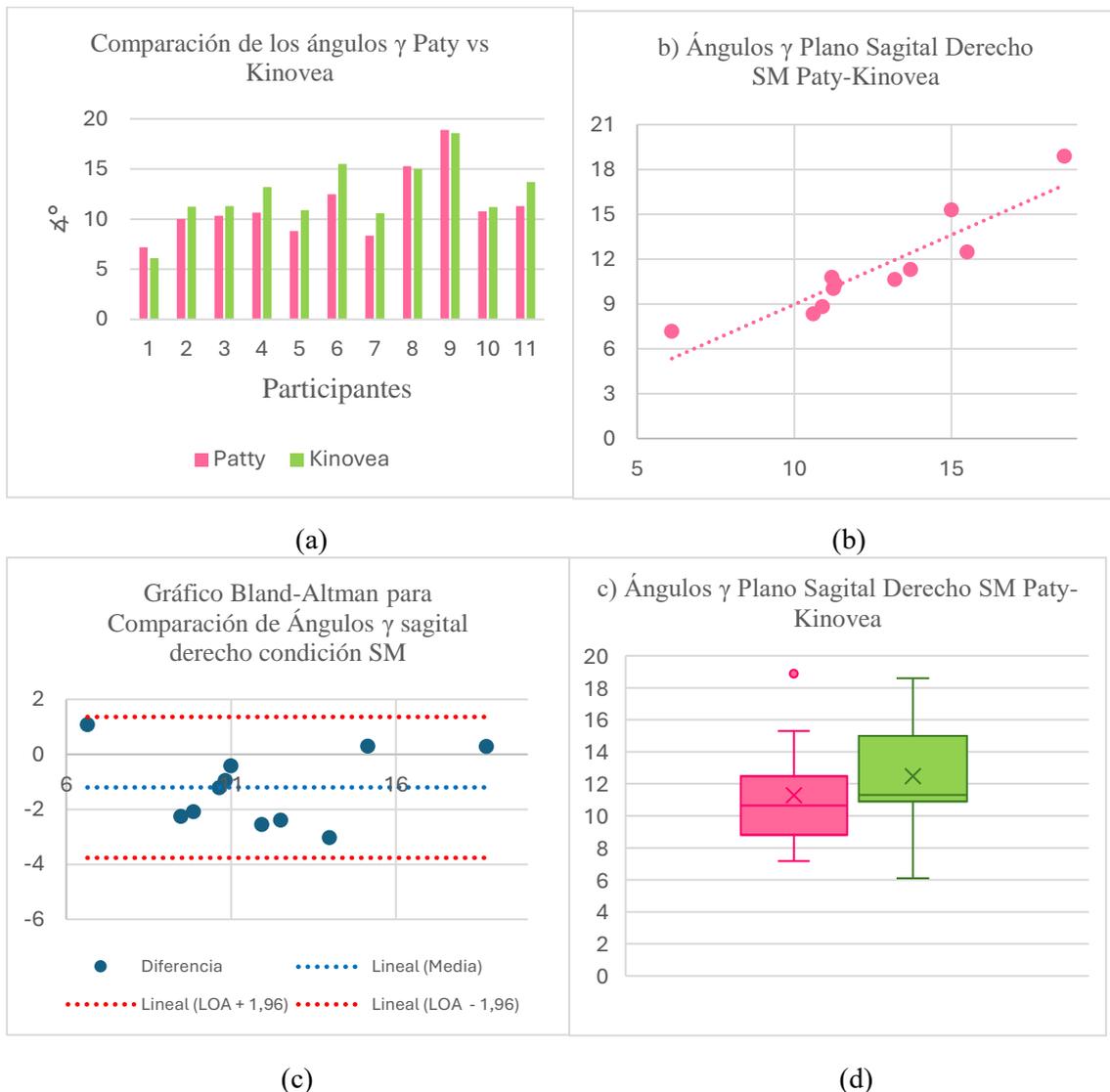
**Figura 27 Resultados con Paty y Kinovea en condición MI; a) ángulos; b) diferencias entre las mediciones de los ángulos; c) dispersión de los datos; d) diagrama de cajas.**



*Nota.* Resultados de los ángulos  $\beta$  medidos con la herramienta Paty y el software Kinovea en la condición con mochila en el lado izquierdo (MI), en el plano frontal izquierdo.

La Figura 28 (a) muestra la variabilidad de los ángulos medidos con la herramienta Paty y el software Kinovea en el plano sagital derecho en la condición sin mochila (SM). En este caso se observa una correlación de 0,913 lo que indica una fuerte relación entre ambas herramientas con una diferencia promedio de 0,75°. En la Figura 28 (b) se presenta el gráfico de Bland-Altman, donde se observa que todas las once mediciones caen dentro de los límites de acuerdo (LOA  $\pm 1,96$ ) y cuatro de ellas presentan una alta concordancia al estar cercanas a 0. En la Figura 28 (c) muestra un gráfico de dispersión que evidencia la relación entre los ángulos medidos por ambos métodos y en la Figura 28 (d) se presenta un diagrama de cajas donde se observa que la mayoría de los datos están dentro del rango esperado a excepción de un punto que está fuera de los límites de los bigotes.

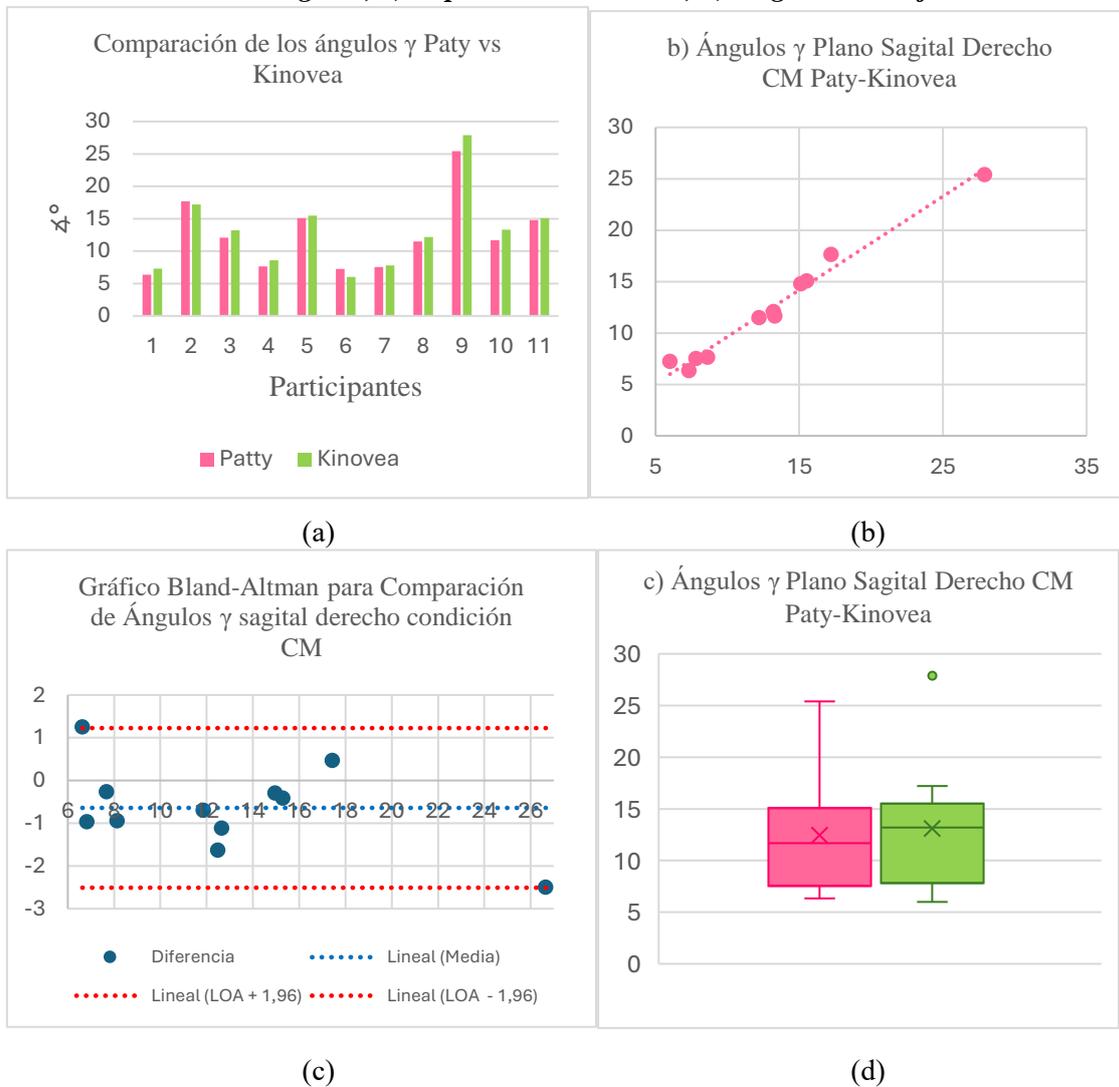
**Figura 28 Resultados con Paty y Kinovea en condición SM; a) ángulos; b) diferencias entre las mediciones de los ángulos; c) dispersión de los datos; d) diagrama de cajas.**



*Nota.* Resultados de los ángulos  $\gamma$  medidos con la herramienta Paty y el software Kinovea en la condición con mochila (CM), en el plano sagital derecho.

La Figura 29 (a) muestra la variabilidad de los ángulos en el plano sagital derecho, en la condición con mochila (CM). Se observa una correlación de 0,989 indicando una fuerte relación entre Paty y Kinovea, con una diferencia promedio de 0,47 °. En la Figura 29 (b) el gráfico de Bland-Altman muestra que nueve mediciones presentan una buena concordancia, mientras que dos mediciones caen justo en los límites de acuerdo (LOA  $\pm 1,96$ ) pero no están cercanas a 0. La Figura 29 (c) presenta el gráfico de dispersión, mostrando la relación entre los ángulos obtenidos por ambos métodos. y en la Figura 29 (d) el diagrama de cajas revela que la mayoría de los datos de Paty y Kinovea están dentro del rango esperado a excepción de un punto que está fuera de los límites de los bigotes.

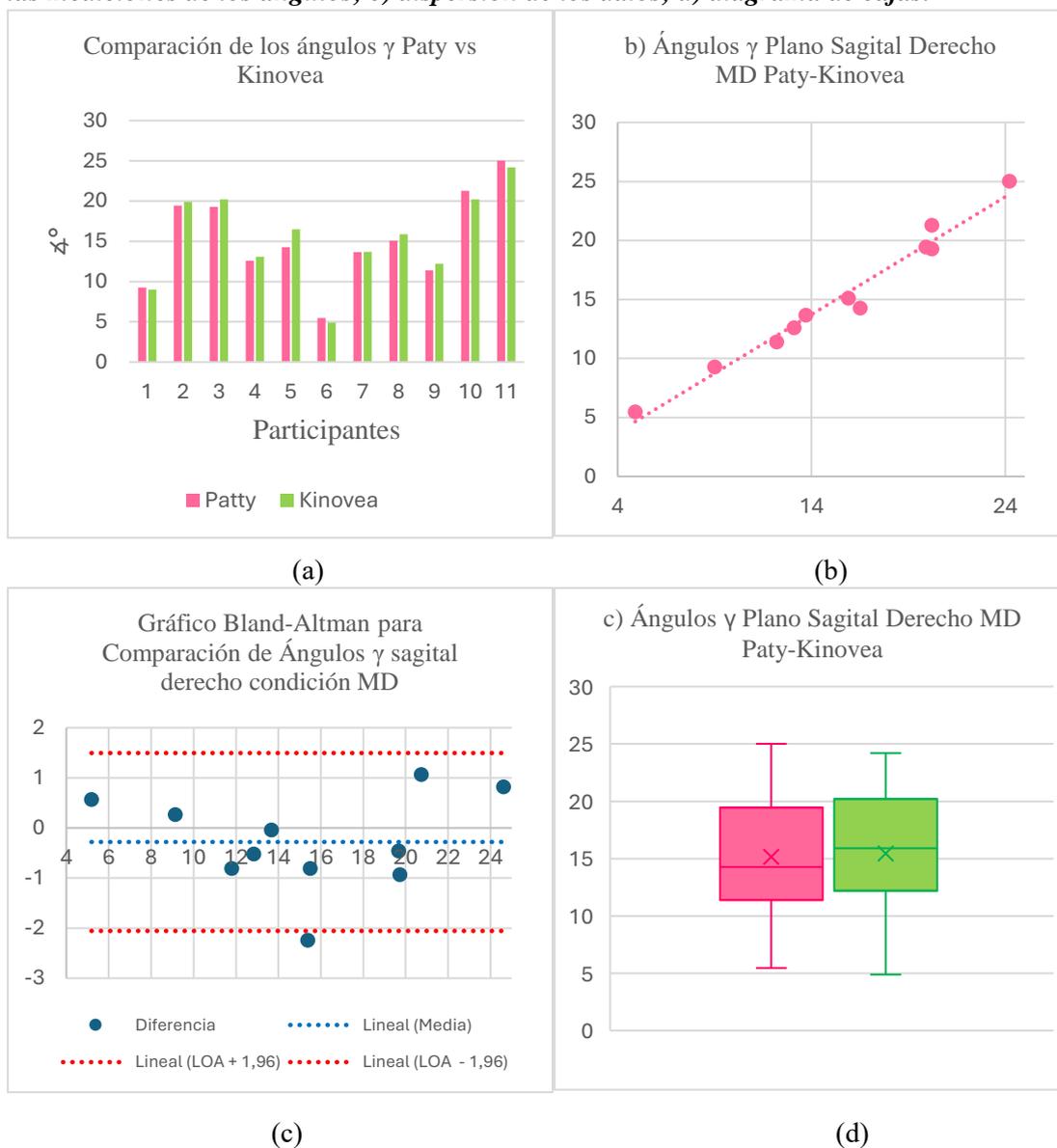
**Figura 29 Resultados con Paty y Kinovea en condición CM a) ángulos; b) diferencias entre las mediciones de los ángulos; c) dispersión de los datos; d) diagrama de cajas.**



*Nota.* Estos gráficos presentan los resultados de los ángulos  $\gamma$  medidos con la herramienta Paty y el software Kinovea en la condición sin mochila (SM), en el plano sagital derecho.

La Figura 30 (a) muestra la variabilidad de los ángulos en el plano sagital derecho en la condición con mochila del lado derecho (MD), la correlación es de 0,985 indica una fuerte relación entre Paty y Kinovea, con una diferencia promedio de 0,38 °. En la Figura 30 (b) el gráfico de Bland-Altman muestra que nueve de las once mediciones presentan una buena concordancia y están dentro de los límites de acuerdo (LOA  $\pm 1,96$ ), mientras que una medición cae fuera de los límites y no está cercana a 0. La Figura 30 (c) muestra el gráfico de dispersión, representando la relación entre los valores medidos por ambos métodos y en la Figura 30 (d) el diagrama de cajas indica que los datos de Paty y Kinovea siguen una distribución normal.

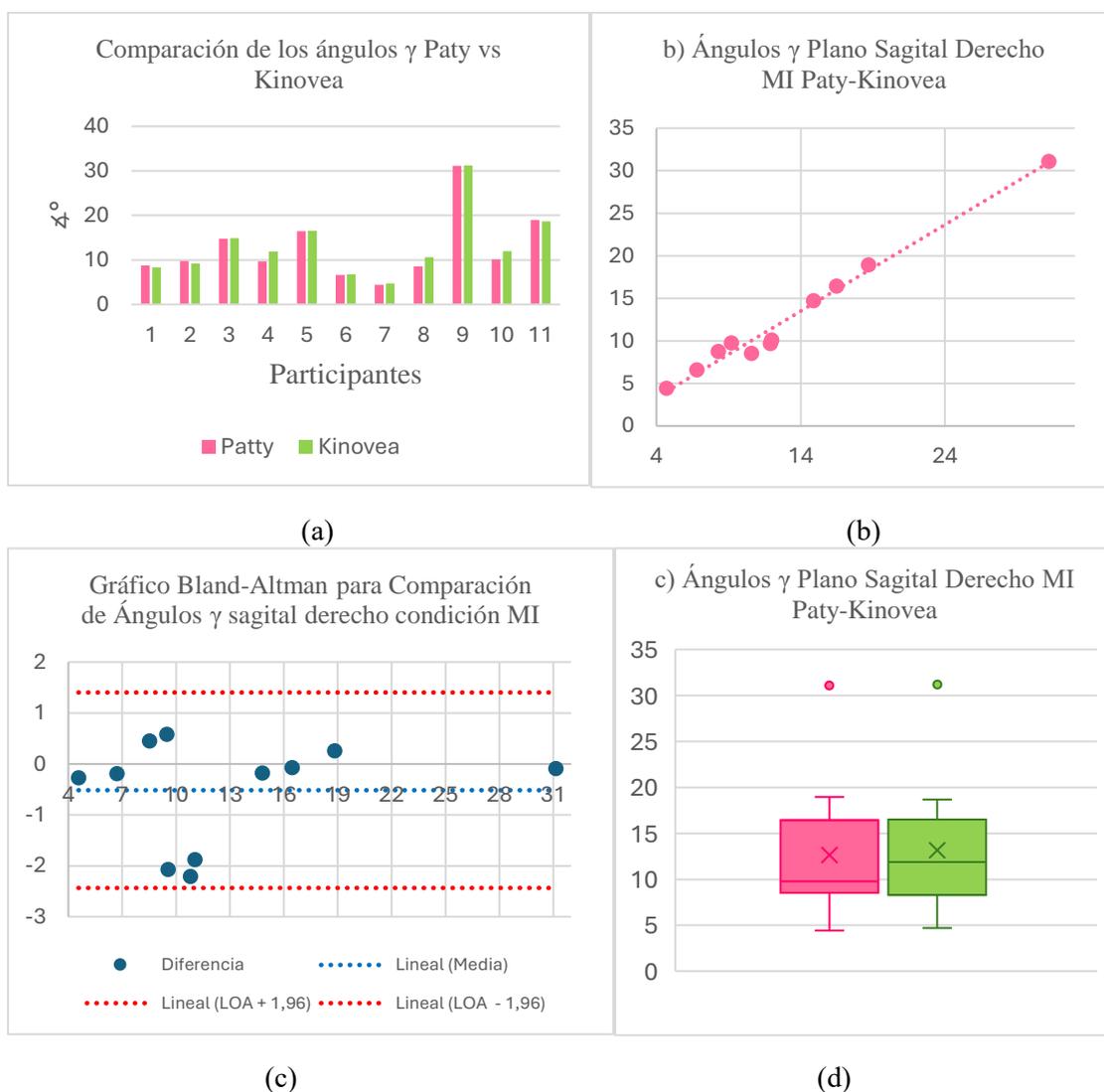
**Figura 30 Resultados con Paty y Kinovea en condición MD; a) ángulos; b) diferencias entre las mediciones de los ángulos; c) dispersión de los datos; d) diagrama de cajas.**



*Nota.* Resultados de los ángulos  $\gamma$  medidos con la herramienta Paty y el software Kinovea en la condición con mochila en el lado derecho (MD), en el plano sagital derecho.

La Figura 31 (a) muestra la variabilidad de los ángulos en el plano sagital derecho en la condición con mochila del lado izquierdo (MI), la correlación que presenta es de 0,99 indicando una fuerte relación entre Paty y Kinovea, con una diferencia promedio de 0,37 °. En la Figura 31 (b) el gráfico de Bland-Altman muestra que todas las mediciones se encuentran dentro de los límites de acuerdo (LOA  $\pm 1,96$ ), y ocho de ellas presentan una alta concordancia. En la Figura 31 (c) se muestra el gráfico de dispersión, representando la relación entre los valores medidos por ambos métodos. y en la Figura 31 (d) el diagrama de cajas muestra que la mayoría de los datos están dentro del rango esperado a excepción de un punto que está fuera de los límites de los bigotes en ambos casos.

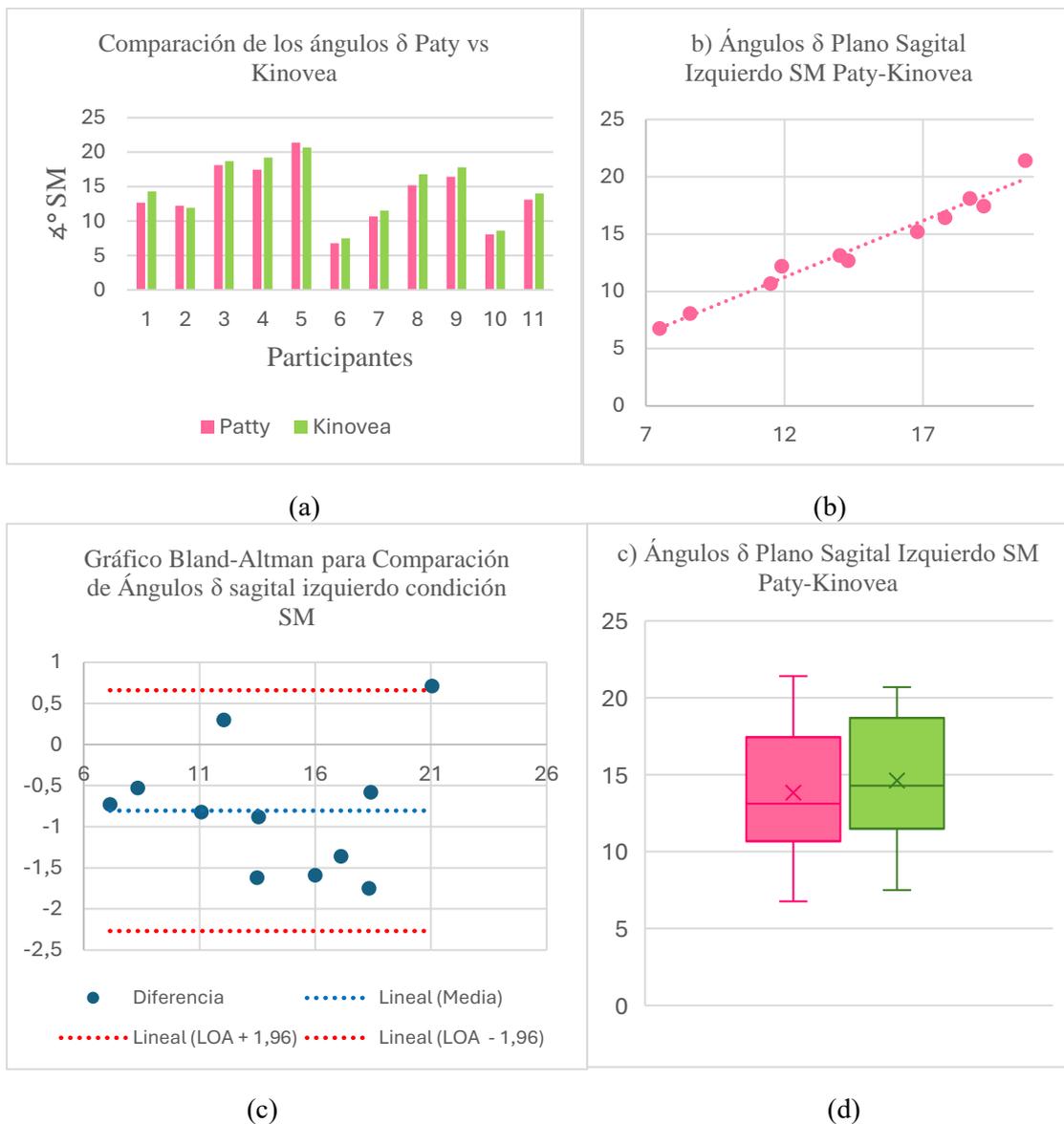
**Figura 31 Resultados con Paty y Kinovea en condición MI; a) ángulos; b) diferencias entre las mediciones de los ángulos; c) dispersión de los datos; d) diagrama de cajas.**



*Nota.* Resultados de los ángulos  $\gamma$  medidos con la herramienta Paty y el software Kinovea en la condición con mochila en el lado izquierdo (MI), en el plano sagital derecho.

La Figura 32 (a) muestra la variabilidad de los ángulos medidos con la herramienta Paty y el software Kinovea en el plano sagital izquierdo en la condición sin mochila (SM), con una correlación de 0,984 indicando una fuerte relación entre ambas herramientas, con una diferencia promedio de 0,49°. En la Figura 32 (b) se presenta el gráfico de Bland-Altman, donde se observa que las once mediciones se encuentran dentro de los límites de acuerdo (LOA  $\pm 1,96$ ) y seis de ellas presentan una buena concordancia. La Figura 32 (c) muestra un gráfico de dispersión, evidenciando la relación entre los ángulos medidos por ambos métodos y la Figura 32 (d) se presenta un diagrama de cajas, donde se observa que los datos de Paty y Kinovea tienen una distribución normal.

**Figura 32 Resultados con Paty y Kinovea en condición SM; a) ángulos; b) diferencias entre las mediciones de los ángulos; c) dispersión de los datos; d) diagrama de cajas.**



*Nota.* Resultados de los ángulos  $\delta$  medidos con la herramienta Paty y el software Kinovea en la condición sin mochila (SM), en el plano sagital izquierdo.

La Figura 33 (a) muestra la variabilidad de los ángulos en el plano sagital izquierdo, en la condición con mochila (CM), se tiene una correlación de 0,972, indicando una fuerte relación entre Paty y Kinovea, con una diferencia promedio de  $0,62^\circ$ , en la Figura 33 (b), el gráfico de Bland-Altman muestra que las once mediciones se encuentran dentro de los límites de acuerdo ( $LOA \pm 1,96$ ) y cinco de ellas presentan una buena concordancia, la Figura 33 (c) presenta el gráfico de dispersión, mostrando la relación entre los ángulos obtenidos por ambos métodos y la Figura 33 (d), el diagrama de cajas revela que los datos de Paty y Kinovea siguen una distribución normal.

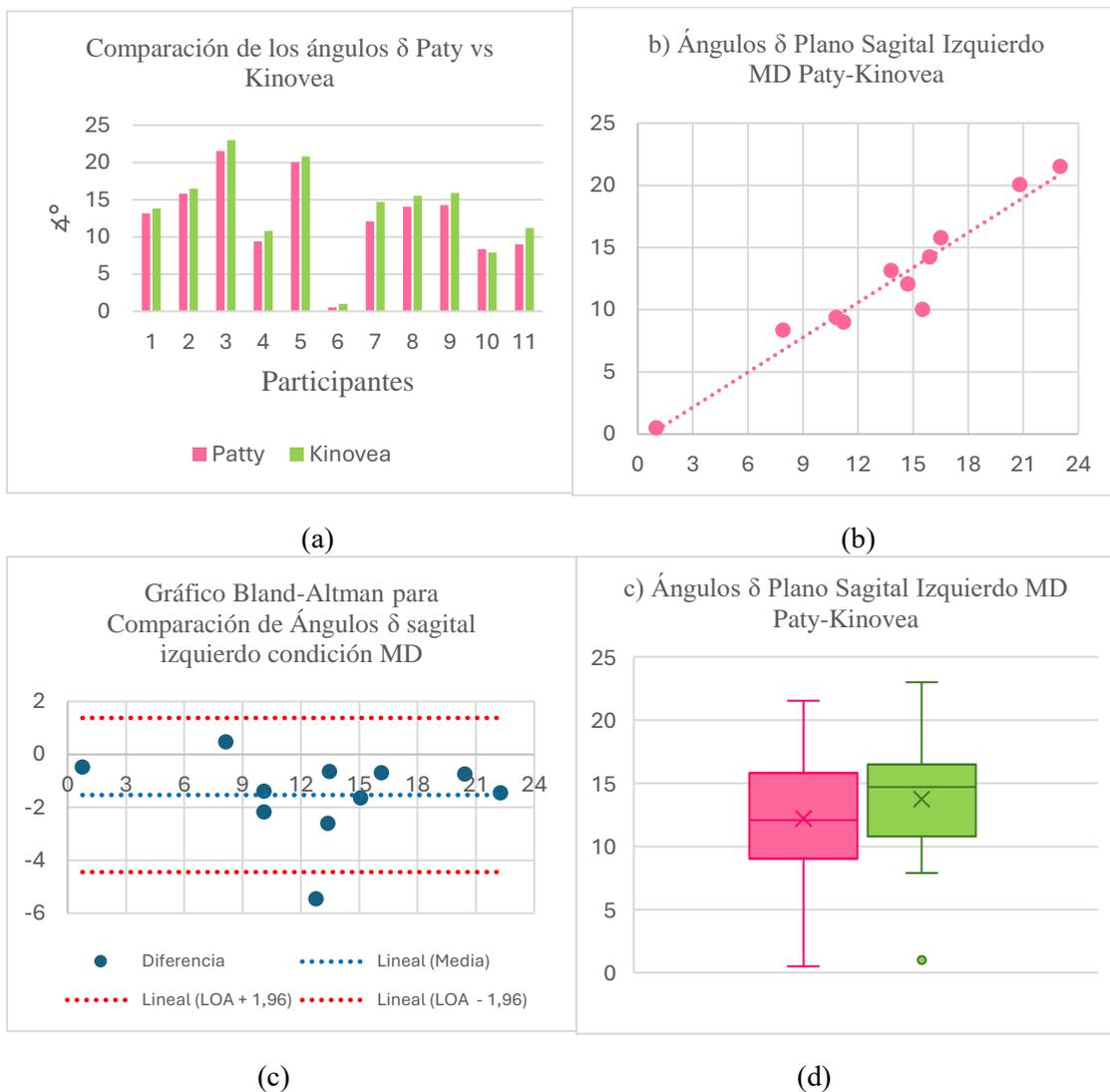
**Figura 33 Resultados con Paty y Kinovea en condición CM; a) ángulos; b) diferencias entre las mediciones de los ángulos; c) dispersión de los datos; d) diagrama de cajas.**



*Nota.* Resultados de los ángulos  $\delta$  medidos con la herramienta Paty y el software Kinovea en la condición con mochila (CM), en el plano sagital izquierdo.

La Figura 34 (a) muestra la variabilidad de los ángulos en el plano sagital izquierdo, en la condición con mochila del lado derecho (MD), la correlación es de 0,966 indica una fuerte relación entre Paty y Kinovea, con una diferencia promedio de 0,80°, la Figura 34 (b), el gráfico de Bland-Altman muestra que diez de las mediciones caen dentro de los límites de acuerdo (LOA  $\pm$  1,96), mientras que una medición cae fuera de los límites, cinco de ellas presentan una buena concordancia, la Figura 34 (c) muestra el gráfico de dispersión, representando la relación entre los valores medidos por ambos métodos y la Figura 34 (d), el diagrama de cajas indica que la mayoría de los datos están dentro del rango esperado, excepto por un punto significativamente más bajo que los demás. El bigote de la caja rosa tiende a un sesgo negativo, lo que indica una distribución asimétrica hacia la izquierda.

**Figura 34 Resultados con Paty y Kinovea en condición MD; a) ángulos; b) diferencias entre las mediciones de los ángulos; c) dispersión de los datos; d) diagrama de cajas.**



*Nota.* Resultados de los ángulos  $\delta$  medidos con la herramienta Paty y el software Kinovea en la condición con mochila en el lado derecho (MD), en el plano sagital izquierdo.

La Figura 35 (a) muestra la variabilidad de los ángulos en el plano sagital izquierdo en la condición con mochila del lado izquierdo (MI), la correlación de 0,983 indica una fuerte relación entre Paty y Kinovea, con una diferencia promedio de 0,66°, en la Figura 35 (b) el gráfico de Bland-Altman muestra que diez de las mediciones caen dentro de los límites de acuerdo (LOA  $\pm$  1,96), mientras que una medición cae fuera de los límites y cuatro de ellas presentan una buena concordancia, la Figura 35 (c) muestra el gráfico de dispersión, representando la relación entre los valores medidos por ambos métodos y en la Figura 35 (d) el diagrama de cajas muestra que los datos están dentro del rango esperado, con una tendencia a una distribución normal.

**Figura 35 Resultados con Paty y Kinovea en condición MI; a) ángulos; ) diferencias entre las mediciones de los ángulos; c) dispersión de los datos; d) diagrama de cajas.**



**Nota.** Resultados de los ángulos  $\delta$  medidos con la herramienta Paty y el software Kinovea en la condición con mochila en el lado izquierdo (MI), en el plano sagital izquierdo.

En las tablas 18, 19, 20 y 21 se muestran los resultados de los ángulos medidos en las cuatro condiciones en cada plano.

**Tabla 18. Tabla de resultados de los ángulos medidos en el Plano Frontal Derecho.**

<b>Plano Frontal Derecho</b>				
<b>CODIGO- PARTICIPANTE</b>	<b>Ángulo Sin Mochila (°)</b>	<b>Ángulo Con Mochila (°)</b>	<b>Ángulo Mochila lado Derecho (°)</b>	<b>Ángulo Mochila lado Izquierdo (°)</b>
1	1,07	4,4	2,06	6,34
2	3,99	5,83	2,89	4,71
3	1,36	4,86	1,17	2,7
4	0,71	4,71	3,04	3,54
5	3,49	2,86	0	7,25
6	7,05	9,09	4,36	10,36
7	8,67	11,53	8,38	9,37
8	8,6	8,53	8,05	10,01
9	7,43	13,44	22,83	4,24
10	1,83	1,07	3,21	5,49
11	8,04	6,86	7,98	13,8

*Nota.* Esta tabla presenta los resultados de los ángulos medidos con Paty en el plano frontal derecho en las distintas condiciones SM, CM, MD y MI.

**Tabla 19. Tabla de resultados de los ángulos medidos en el Plano Frontal Izquierdo.**

<b>Plano Frontal Izquierdo</b>				
<b>CODIGO - PARTICIPANTE</b>	<b>Ángulo Sin Mochila (°)</b>	<b>Ángulo Con Mochila (°)</b>	<b>Ángulo Mochila lado Derecho (°)</b>	<b>Ángulo Mochila lado Izquierdo (°)</b>
1	7,13	8,91	6,58	6,67
2	4,09	7,93	8,7	6,4
3	2,76	4,81	8,05	3,81
4	5	8,04	6,14	5,3
5	3,76	2,41	0,58	1,11
6	6,34	10,08	8,4	4,4
7	8,33	12,4	9,37	8,21
8	7,46	8,88	11,83	4,44
9	7,59	9,03	1,08	22,58
10	1,4	1,83	3,3	0,56
11	6,01	8,13	8,83	7,13

*Nota.* Esta tabla presenta los resultados de los ángulos medidos con Paty en el plano frontal izquierdo en las distintas condiciones SM, CM, MD y MI.

**Tabla 20. Tabla de resultados de los ángulos medidos en el Plano Sagital Derecho**

<b>Plano Sagital Derecho</b>				
<b>CODIGO-PARTICIPANTE</b>	<b>Ángulo Sin Mochila (°)</b>	<b>Ángulo Con Mochila (°)</b>	<b>Ángulo Mochila lado Derecho (°)</b>	<b>Ángulo Mochila lado Izquierdo (°)</b>
1	7,18	6,34	9,27	8,75
2	10,04	17,67	19,44	9,78
3	10,35	12,09	19,27	14,72
4	10,65	7,66	12,58	9,69
5	8,82	15,09	14,26	16,43
6	12,47	7,26	5,47	6,61
7	8,35	7,54	13,66	4,43
8	15,3	11,51	15,09	8,53
9	18,89	25,41	11,39	31,11
10	10,78	11,67	21,27	10,12
11	11,31	14,81	25,02	18,96

*Nota.* Esta tabla presenta los resultados de los ángulos medidos con Paty en el plano sagital derecho en las distintas condiciones SM, CM, MD y MI.

**Tabla 21.** Tabla de resultados de los ángulos medidos en el Plano Sagital Izquierdo.

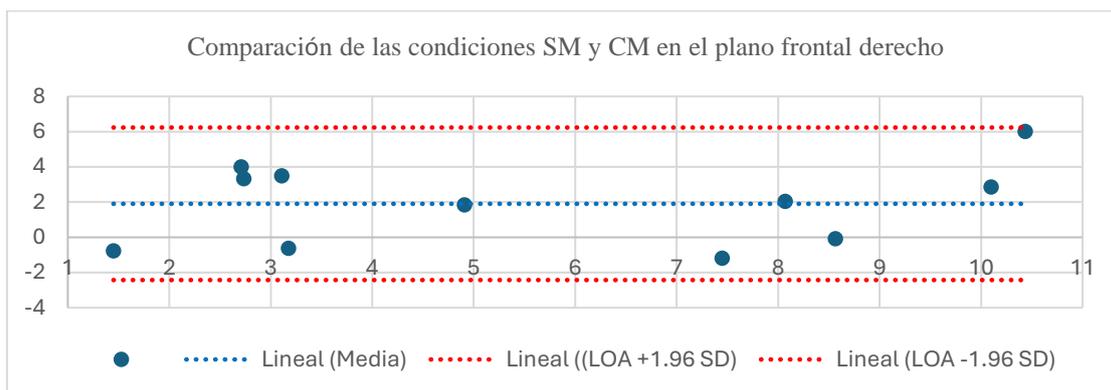
<b>Plano Sagital Izquierdo</b>				
<b>CODIGO-PARTICIPANTE</b>	<b>Ángulo Sin Mochila (°)</b>	<b>Ángulo Con Mochila (°)</b>	<b>Ángulo Mochila lado Derecho (°)</b>	<b>Ángulo Mochila lado Izquierdo (°)</b>
1	12,68	15,64	13,15	13,39
2	12,2	16,07	15,8	12,37
3	18,12	22,25	21,54	22,91
4	17,45	15,37	9,4	18,15
5	21,41	17,57	20,06	22,54
6	6,77	4,34	0,52	11
7	10,68	12,13	12,09	9,03
8	15,21	20,36	14,04	27,12
9	16,44	10,18	14,25	8,71
10	8,07	7,9	8,37	10,85
11	13,12	10,06	9,02	17,32

*Nota.* Esta tabla presenta los resultados de los ángulos medidos con Paty en el plano sagital izquierdo en las distintas condiciones SM, CM, MD y MI.

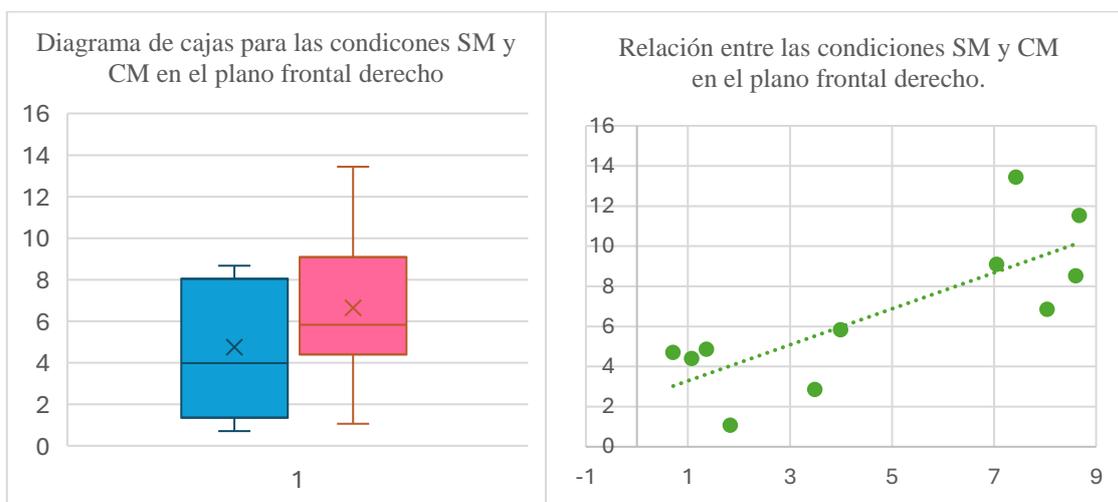
Tenemos los resultados de las condiciones SM y CM en el plano frontal derecho en la Figura 36 (a) Gráfico de Bland-Altman donde el valor de la diferencia media es de 1,903 no cercano a 0, esto indica una variabilidad media baja entre SM y CM, la diferencia media es positiva lo que significa que el promedio de los ángulos es mayor con la mochila, todas las diferencias caen dentro de los límites (LOA  $\pm 1.96$  SD) indicado buena concordancia, la Figura 36 (b) indica el

diagrama de cajas donde la mediana de CM es más alta que SM indicando que los ángulos son mayores con la mochila. Finalmente, en la Figura 36 (c) se observa que cinco de los once valores están por encima de la diagonal, indicando que CM afecta un valor mínimo de participantes y la mayoría no tiene un efecto negativo en la postura en CM.

**Figura 36 a) Gráfico de Bland-Altman para la comparación de ángulos posturales con y sin mochila en el plano frontal derecho; b) Diagrama de cajas para la comparación de ángulos posturales con y sin mochila; c) Gráfico de dispersión entre los ángulos posturales medidos en ambas condiciones**



(a)



(b)

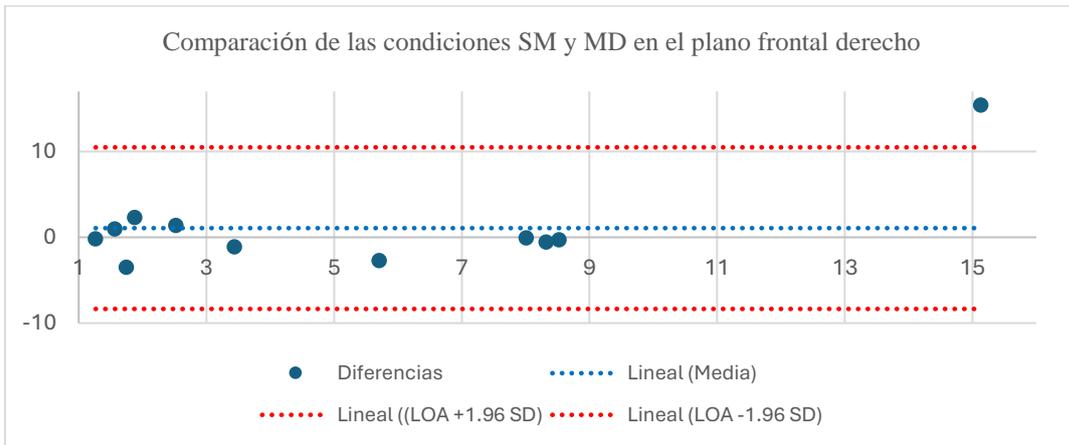
(c)

*Nota.* Resultados de las condiciones sin mochila (SM) y con mochila (CM) en los ángulos  $\alpha$ .

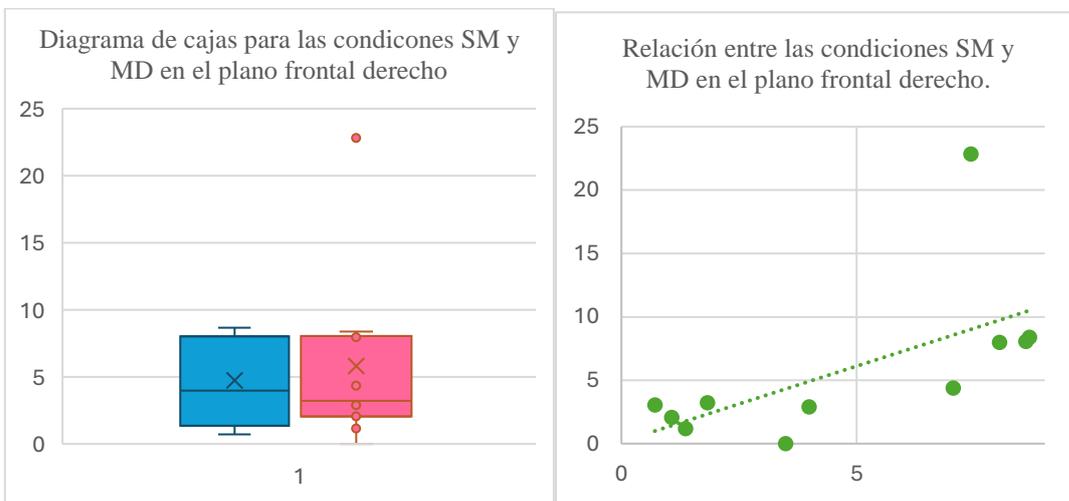
Se presenta en la Figura 37 (a) el Gráfico de Bland-Altman con un valor de diferencia media de 1,066 no cercano a 0 lo que indica una variabilidad medio baja entre SM y MD, la diferencia media es positiva indicando que el promedio de los resultados es mayor con la mochila en el lado derecho, diez de once diferencias caen dentro de los límites (LOA  $\pm 1.96$  SD) indicando buena concordancia, la Figura 37 (b) presenta el diagrama de cajas donde la mediana de SM es más alta

que MD, pero MD presenta valores atípicos lo que significa que algunos participantes tienen cambios más pronunciados con la mochila en el lado derecho, y en la Figura 37 (c) se observa que la mayoría de los valores están por debajo de la diagonal, indicando que MD afecta un valor mínimo de participantes, la mayoría no tiene variabilidad en los ángulos de MD.

**Figura 37 (a) Gráfico de Bland-Altman para la comparación de ángulos posturales sin mochila y con mochila del lado derecho en el plano frontal derecho; (b) Diagrama de cajas para la comparación de ángulos posturales sin mochila y con mochila del lado derecho; (c) Gráfico de dispersión entre los ángulos posturales medidos en ambas condiciones.**



(a)



(b)

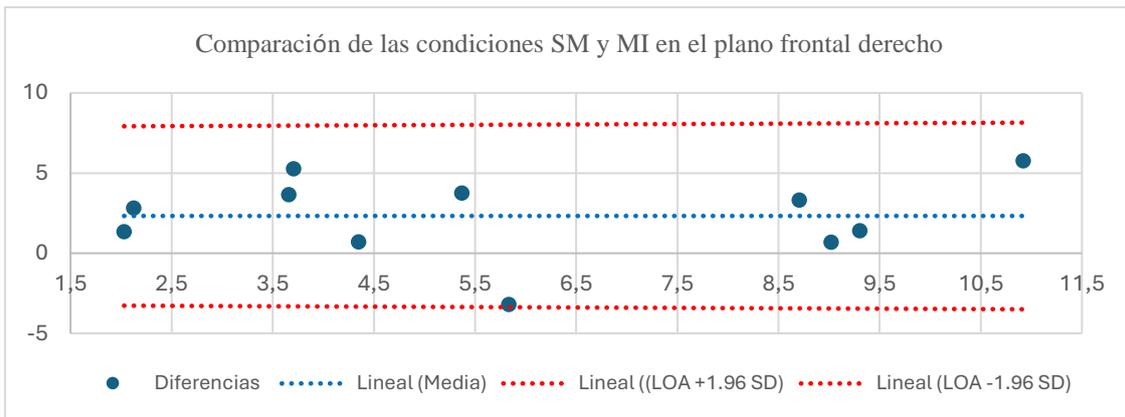
(c)

*Nota.* Resultados de las condiciones sin mochila (SM) y con mochila en el lado derecho (MD) en los ángulos alfa ( $\alpha$ ).

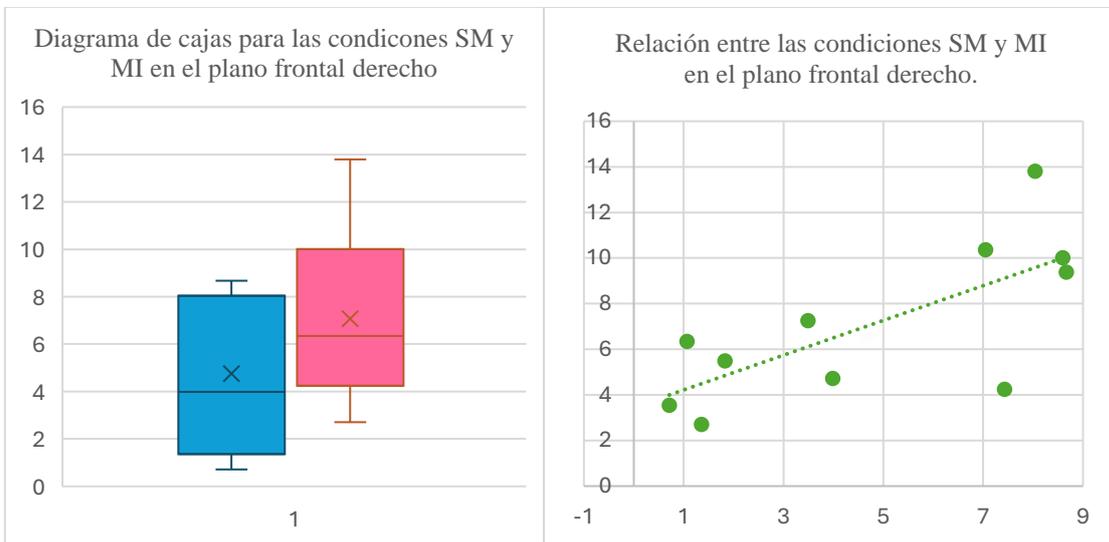
La Figura 38 (a) presenta el gráfico de Bland-Altman con un valor de diferencia media de 2,324 considerado un valor medianamente cercano a 0 lo que indica una variabilidad media alta entre SM y MI, es positiva la diferencia media indicándonos que el promedio de los resultados es mayor

con la mochila en el lado izquierdo, hay una buena concordancia porque todas las diferencias caen dentro de los límites ( $LOA \pm 1.96 SD$ ), la Figura 38 (b) se observa que la mediana de MI es más alta que SM, significa que los ángulos tienden a ser mayores al usar la mochila en el lado izquierdo y en la Figura 38 (c) se observa que la mitad de los participantes tienen ángulos posturales mayores con la mochila en el lado izquierdo.

**Figura 38 (a) Gráfico de Bland-Altman para la comparación de ángulos posturales sin mochila y con mochila de lado izquierdo en el plano frontal derecho; (b) Diagrama de cajas para la comparación de ángulos posturales sin mochila y con mochila de lado izquierdo; (c) Gráfico de dispersión entre los ángulos posturales medidos en ambas condiciones.**



(a)



(b)

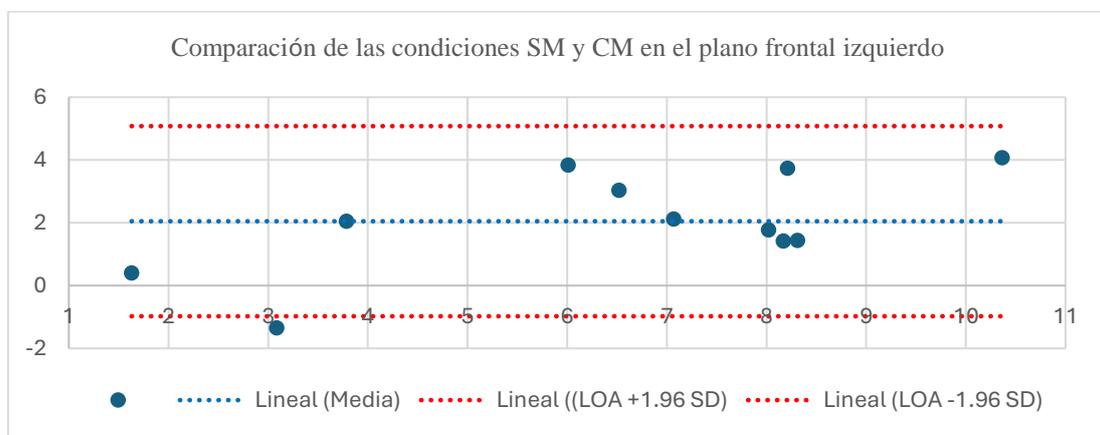
(c)

*Nota.* Resultados de las condiciones sin mochila (SM) y con mochila en el lado izquierdo (MI) en los ángulos alfa ( $\alpha$ ).

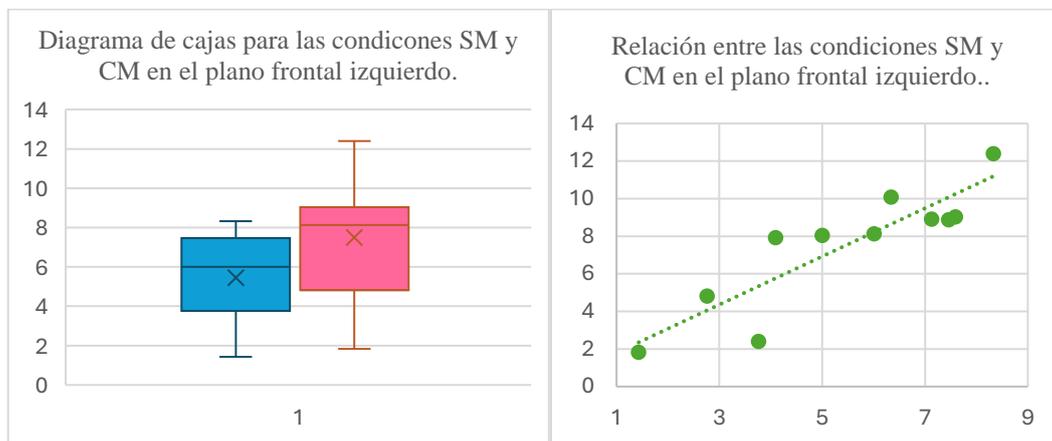
Tenemos los resultados de las condiciones SM y CM en el plano frontal izquierdo en la Figura 39 (a) Tenemos el gráfico de Bland-Altman donde el valor de la diferencia media entre CM y SM es de 2,05 considerando que el valor es medianamente cercano a cero lo que significa que en

promedio existe una diferencia media entre CM y SM, como la diferencia es positiva indica que los ángulos son mayores con mochila indicándonos que la postura cambia levemente, la mayoría de las diferencias se encuentran dentro de los límites de acuerdo (LOA  $\pm 1.96$  SD) indicando una buena concordancia entre ambas mediciones. La Figura 39 (b) en el diagrama de cajas observamos que para CM la mediana es más alta que SM significando que los ángulos tienden a ser mayores al usar la mochila. Finalmente, en la Figura 39 (c) tenemos la gráfica de dispersión donde se observa que los valores no tienen una variabilidad significativa.

**Figura 39 (a) Gráfico de Bland-Altman para la comparación de ángulos posturales con y sin mochila en el plano frontal izquierdo; (b) Diagrama de cajas para la comparación de ángulos posturales con y sin mochila; (c) Gráfico de dispersión entre los ángulos posturales.**



(a)



(b)

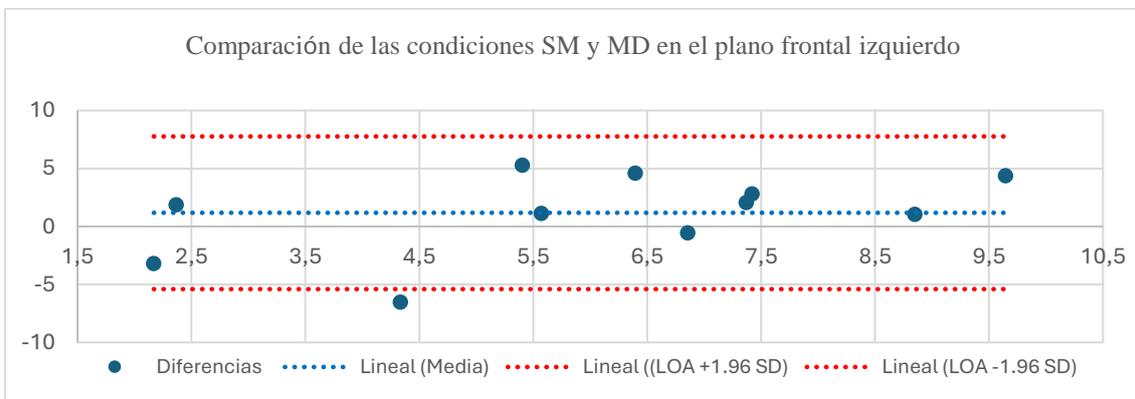
(c)

*Nota.* Resultados de las condiciones sin mochila (SM) y con mochila (CM) en los ángulos  $\beta$ .

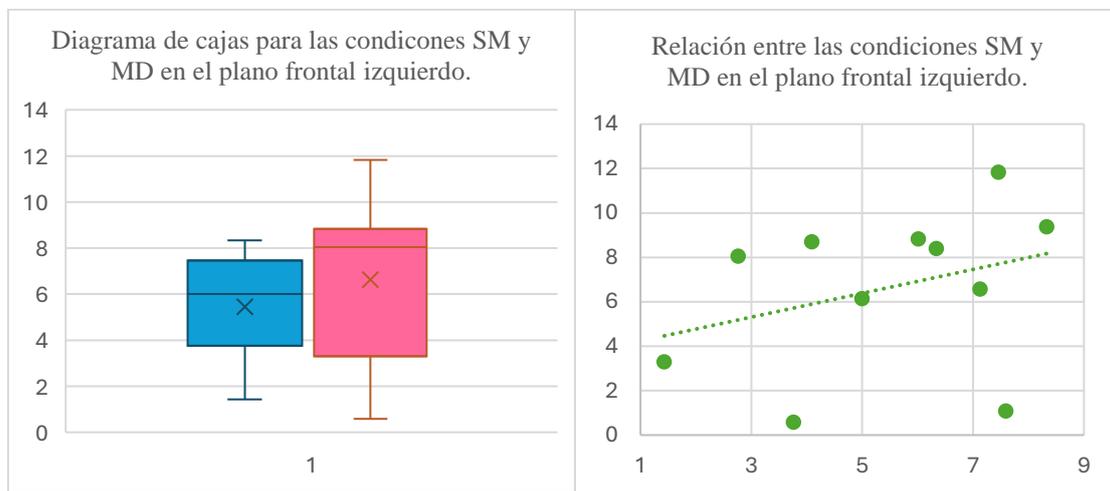
Para el análisis de las condiciones SM y MD los resultados se presentan en los gráficos de la Figura 40 (a) el gráfico de Bland-Altman muestra que la diferencia media es de 1,178, un valor relativamente cercano a cero, lo que nos indica que no existe gran diferencia entre SM y MD. La diferencia es positiva lo que sugiere que el promedio de los ángulos es mayor cuando la mochila

está en el lado derecho. Se observa una buena concordancia entre ambas mediciones ya que la mayoría de los valores se encuentran dentro de los límites (LOA  $\pm 1.96$  SD), la Figura 40 (b) es el diagrama de cajas donde muestra que la mediana de MD es más alta que SM, lo que confirma que los ángulos son mayores al usar la mochila en el lado derecho, indicando una mayor inclinación postural. Finalmente, en la Figura 40 (c) se observa que seis de los once valores están por encima de la diagonal, lo que indica que la condición MD modifica la postura de algunos participantes.

**Figura 40 (a) Gráfico de Bland-Altman para la comparación de ángulos posturales sin mochila y con mochila del lado derecho en el plano frontal izquierdo.; (b) Diagrama de cajas para la comparación de ángulos posturales sin mochila y con mochila del lado derecho; (c) Gráfico de dispersión entre los ángulos posturales medidos en ambas condiciones.**



(a)



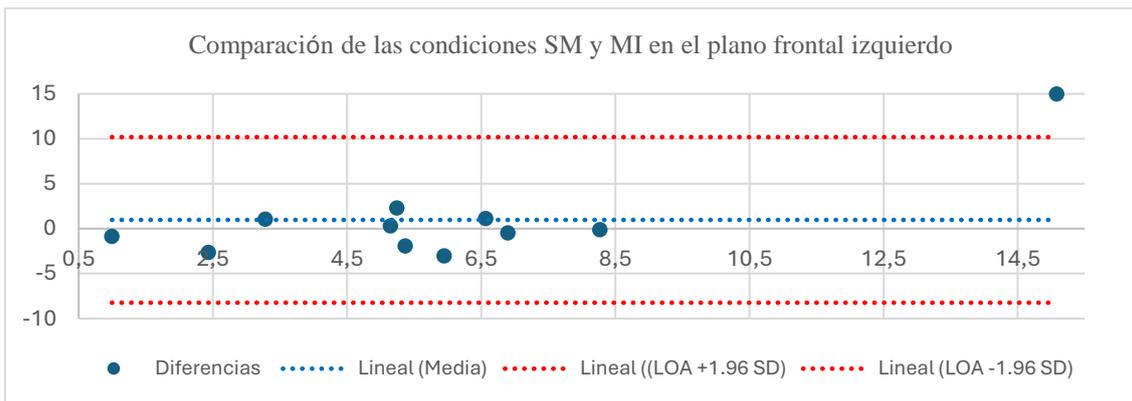
(b)

(c)

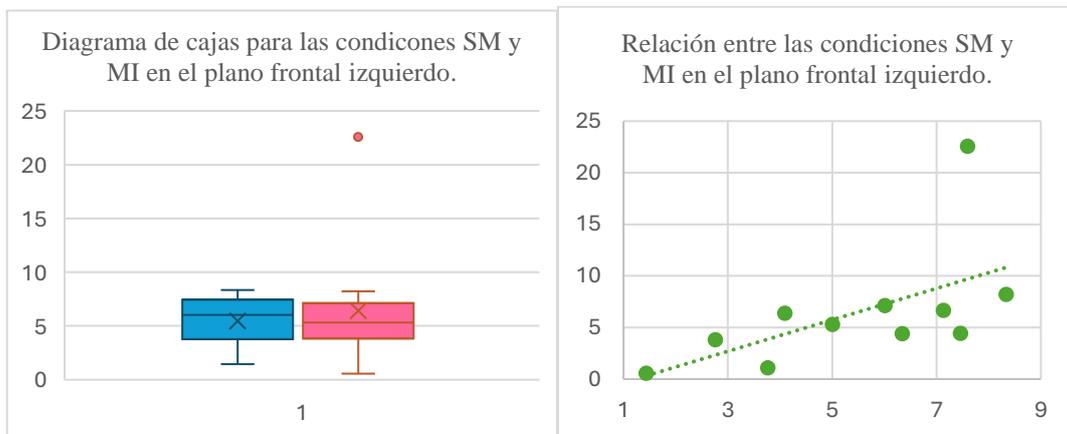
*Nota.* Resultados de las condiciones sin mochila (SM) y con mochila en el lado derecho (MD) en los ángulos beta ( $\beta$ ).

Para las condiciones SM y MI, los resultados se presentan en los gráficos de la Figura 41 (a) muestra el gráfico de Bland-Altman donde el valor de la diferencia media es 0,973, un valor cercano a 0, esto significa que no existe una gran diferencia de los ángulos SM y MI. La diferencia media es positiva indicando que el promedio de los ángulos es mayor cuando la mochila está en el lado izquierdo, la mayoría de las diferencias caen dentro de los límites (LOA  $\pm 1.96$  SD) lo que significa una buena concordancia, en la Figura 41 (b), el diagrama de cajas muestra que la mediana de SM es ligeramente más alta que MI, lo que significa que los ángulos son mayores sin la mochila. Sin embargo, MI presenta un valor atípico, lo que significa que al menos un participante tiene cambios más pronunciados con la mochila en el lado izquierdo. Finalmente, en la Figura 41 (c), la mayoría de los datos se encuentran por debajo de la diagonal, esto significa que los participantes no presentan un cambio postural significativo en la condición MI.

**Figura 41 (a) Gráfico de Bland-Altman para la comparación de ángulos posturales sin mochila y con mochila de lado izquierdo en el plano frontal izquierdo.; (b) Diagrama de cajas para la comparación de ángulos posturales sin mochila y con mochila de lado izquierdo; (c) Gráfico de dispersión entre los ángulos posturales medidos en ambas condiciones**



(a)



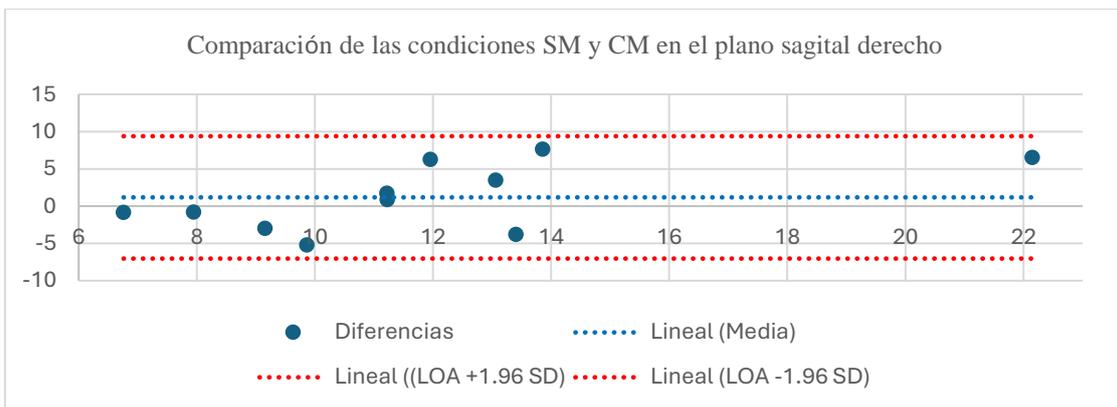
(b)

(c)

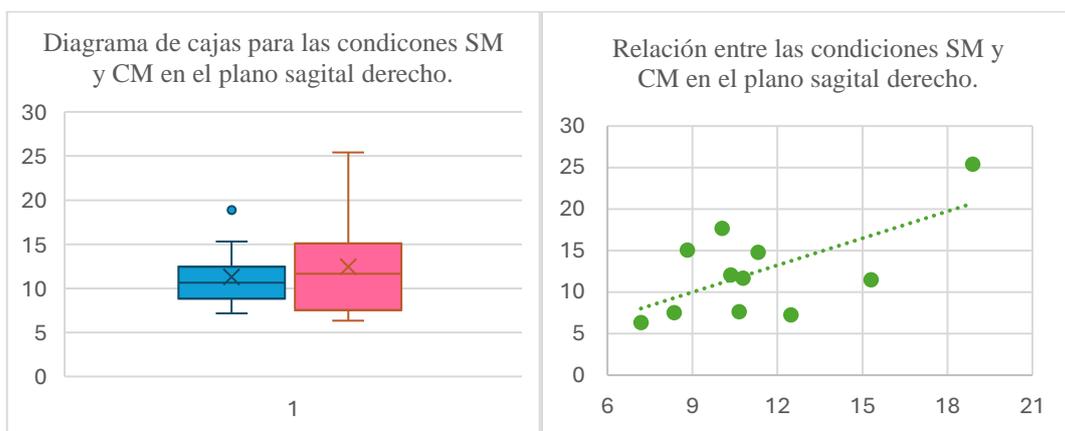
*Nota.* Resultados de las condiciones sin mochila (SM) y con mochila en el lado izquierdo (MI) en los ángulos beta ( $\beta$ ).

La Figura 42 (a) presenta los resultados entre SM y CM en el gráfico Bland-Altman en el plano sagital derecho, con un valor de diferencia media de 1,173 considerándolo un valor medianamente cercano a 0 lo que significa una variabilidad moderada-alta entre SM y CM. La diferencia media es positiva lo que indica que el promedio de los resultados es mayor con la mochila, existe una buena concordancia ya que las diferencias se encuentran dentro de los limites (LOA  $\pm 1.96$  SD), la Figura 42 (b) indica que la mediana de CM es más alta que SM, se interpreta que los ángulos posturales tienden a ser mayores al usar la mochila. Sin embargo, SM presenta un valor atípico lo que sugiere que uno de los participantes tiene un ángulo mayor sin la mochila. Finalmente, la Figura 42 (c) confirma que la mitad de los participantes tienen ángulos posturales mayores con la mochila.

**Figura 42 (a) Gráfico de Bland-Altman para la comparación de ángulos posturales con y sin mochila en el plano sagital derecho; (b) Diagrama de cajas para la comparación de ángulos posturales con y sin mochila; (c) Gráfico de dispersión entre los ángulos posturales medidos en ambas condiciones.**



(a)



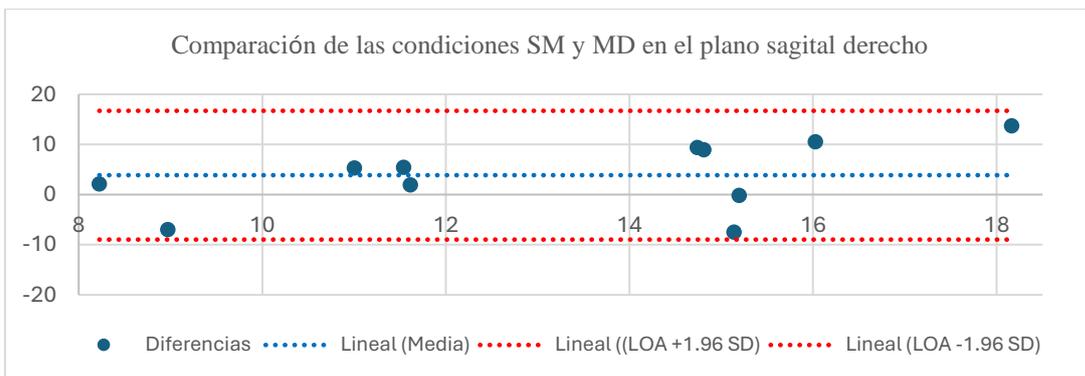
(b)

(c)

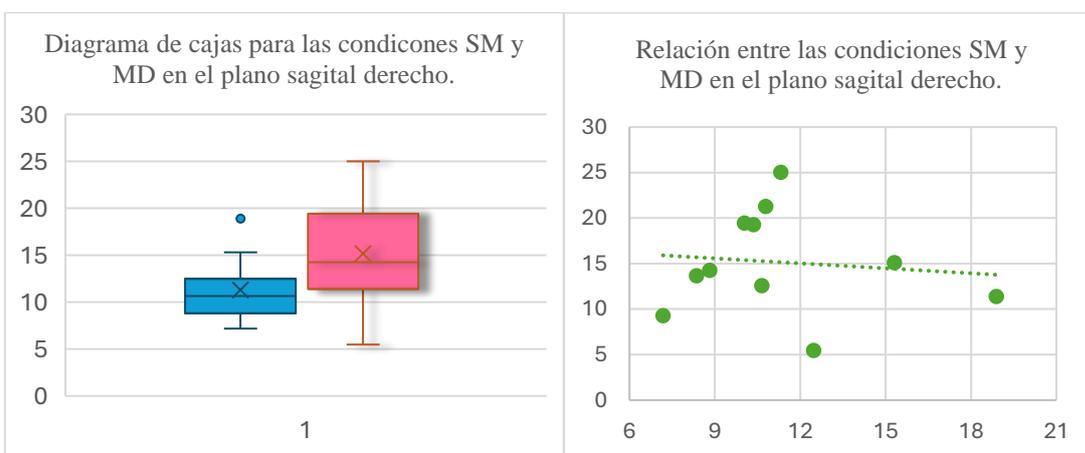
*Nota.* Resultados de las condiciones sin mochila (SM) y con mochila (CM) en los ángulos  $\gamma$ .

Para SM y MD en la Figura 43 (a) se muestra el gráfico Bland-Altman con un valor de diferencia media de 3,870 este resultado indica una gran variabilidad entre SM y MD. La diferencia media es positiva lo que indica que el promedio de los resultados es mayor cuando la mochila está en el lado derecho, presenta una buena concordancia por todas las diferencias que están dentro de los límites (LOA  $\pm 1.96$  SD), la Figura 43 (b) indica que la mediana de MD es más mayormente alta a SM, lo que significa que los ángulos son mayores al usar la mochila en el lado derecho. Sin embargo, SM presenta un valor atípico indicando que uno de los participantes tiene un ángulo mayor sin la mochila. Finalmente, en la Figura 43 (c) se observa que la mitad de los participantes están por debajo de la línea de tendencia lo que indica que algunos participantes no presentan una mayor variabilidad en MD.

**Figura 43 (a) Gráfico de Bland-Altman para la comparación de ángulos posturales sin mochila y con mochila del lado derecho en el plano sagital derecho; (b) Diagrama de cajas para la comparación de ángulos posturales sin mochila y con mochila del lado derecho; (c) Gráfico de dispersión entre los ángulos posturales medidos en ambas condiciones.**



(a)



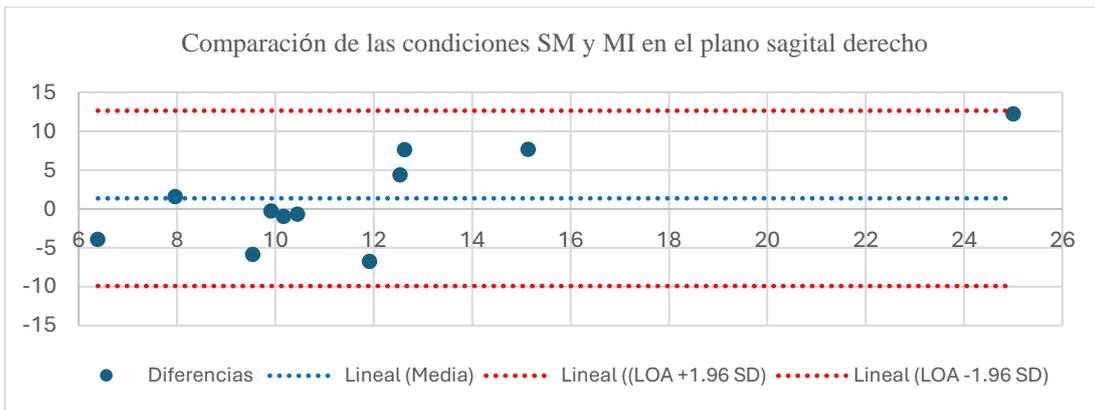
(b)

(c)

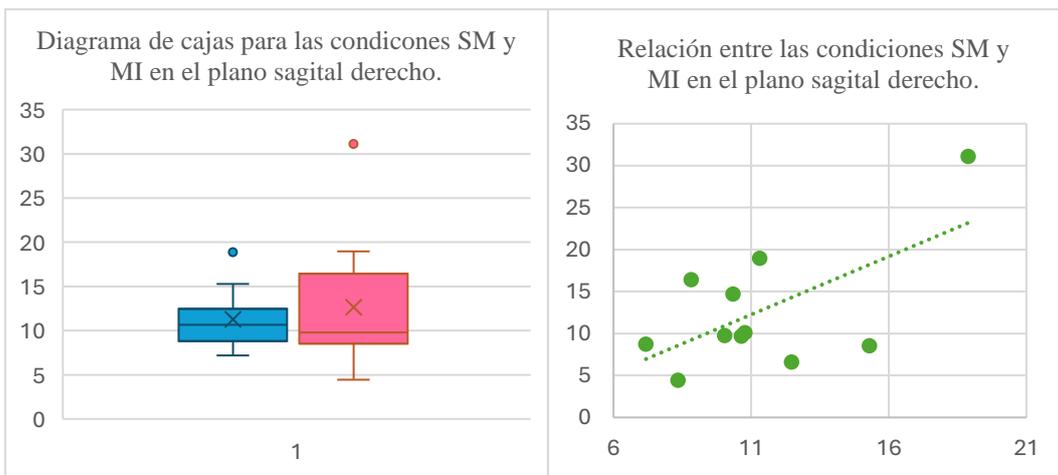
*Nota.* Resultados de las condiciones sin mochila (SM) y con mochila en el lado derecho (MD) en los ángulos gamma ( $\gamma$ ).

Para SM y MI tenemos en la Figura 44 (a) el gráfico Bland-Altman que tiene un valor de diferencia media de 1,362 este resultado significa que no hay una gran variabilidad entre SM y MI, la diferencia media es positiva, lo que significa que el promedio de los resultados es mayor cuando la mochila está en el lado izquierdo, presenta una buena concordancia ya que todas las diferencias están dentro de los límites (LOA  $\pm 1.96$  SD), la Figura 44 (b) indica que la mediana de SM es mayor a la de MI, MI muestra mayor variabilidad en los ángulos cuando la mochila está en el lado izquierdo lo que indica que las mediciones en esta condición son menos consistentes y en la Figura 44 (c) se observa que la mitad de los participantes están por debajo de la línea de tendencia lo que significa que disminuyeron su inclinación cuando la mochila está en el lado derecho.

**Figura 44 (a) Gráfico de Bland-Altman para la comparación de ángulos posturales sin mochila y con mochila de lado izquierdo en el plano sagital derecho; (b) Diagrama de cajas para la comparación de ángulos posturales sin mochila y con mochila de lado izquierdo; (c) Gráfico de dispersión entre los ángulos posturales medidos en ambas condiciones.**



(a)



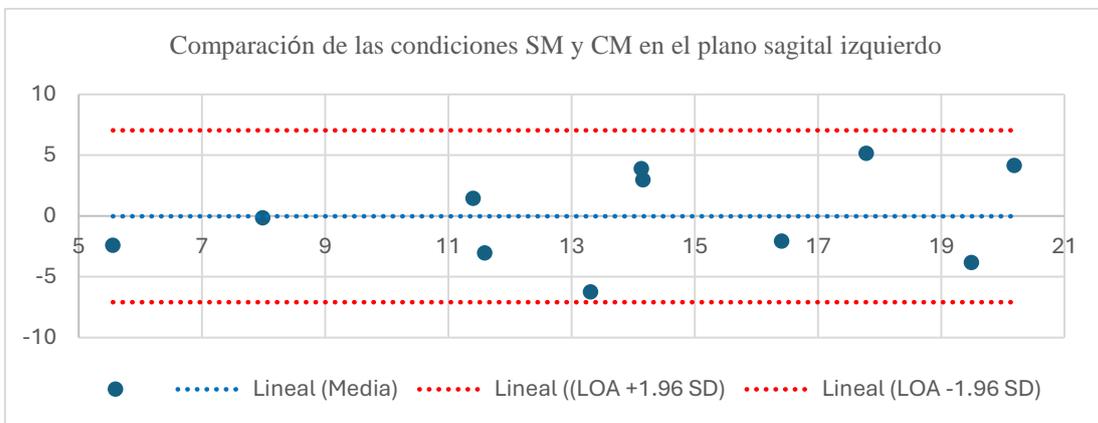
(b)

(c)

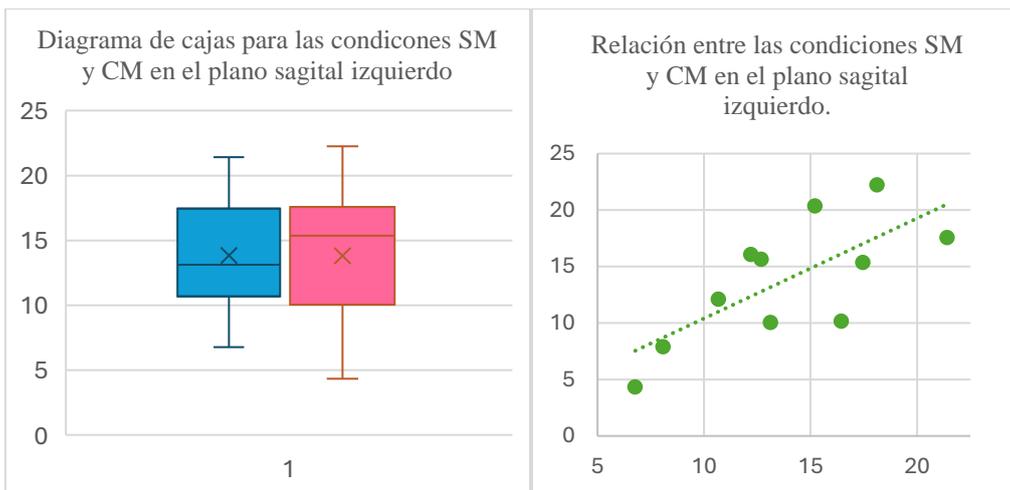
*Nota.* Resultados de las condiciones sin mochila (SM) y con mochila en el lado izquierdo (MI) en los ángulos gamma ( $\gamma$ ).

En las condiciones SM y CM en el plano sagital izquierdo tenemos el valor de diferencia media de -0,025, como se indica en la Figura 45 (a) en el gráfico Bland-Altman este resultado indica que no hay gran variabilidad entre SM y CM, la diferencia media es negativa, lo que significa que el promedio de los resultados es menor con la mochila, tiene una buena concordancia ya que todas las diferencias están dentro de los límites (LOA  $\pm 1.96$  SD), la Figura 45 (b) indica que la mediana de SM es mayor que la de CM, lo que da un resultado contrario al anterior. Sin embargo, la Figura 45 (c) confirma que la mayoría de los participantes no presentan un cambio postural significativo en la condición CM.

**Figura 45 (a) Gráfico de Bland-Altman para la comparación de ángulos posturales con y sin mochila en el plano sagital izquierdo; (b) Diagrama de cajas para la comparación de ángulos posturales con y sin mochila; (c) Gráfico de dispersión entre los ángulos posturales medidos en ambas condiciones.**



(a)



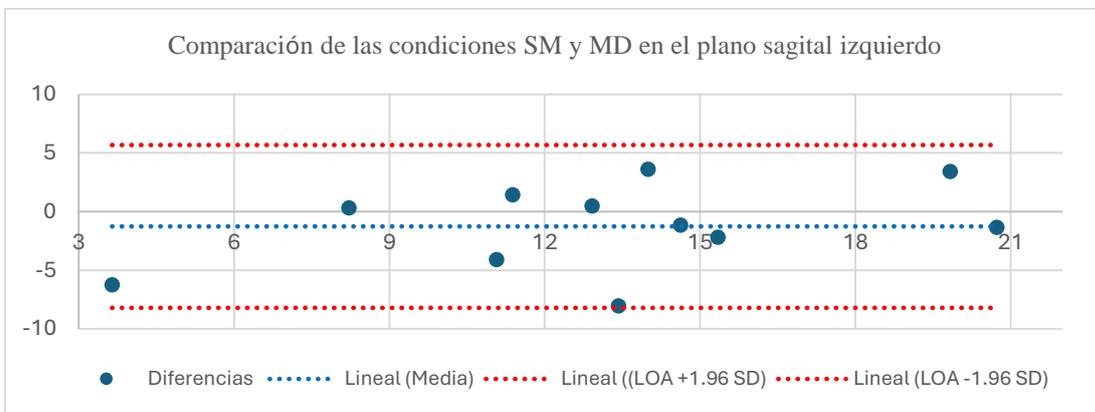
(b)

(c)

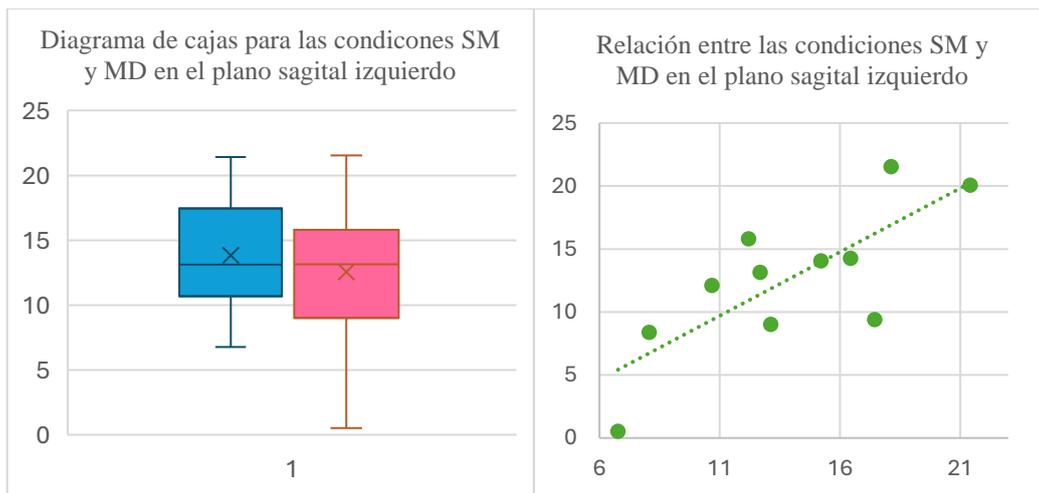
*Nota.* Resultados de las condiciones sin mochila (SM) y con mochila (CM) en los ángulos delta ( $\delta$ ).

Para SM y MD el valor de diferencia media es de -1,264 como se indica en la Figura 46 (a) en el gráfico Bland-Altman, este resultado significa que no varía notablemente los datos entre SM y MD, la diferencia media es negativa, por lo que el promedio de los resultados es menor con la mochila en el lado derecho, esto indica una buena concordancia ya que la mayoría de las diferencias están dentro de los límites (LOA  $\pm 1.96$  SD), la Figura 46 (b) indica que la mediana de SM y MD es la misma, lo que sugiere que no hay variación en los ángulos de ambas condiciones. Finalmente, la Figura 46 (c) confirma que la mayoría de los participantes no presentan un cambio postural significativo en la condición MD.

**Figura 46 (a) Gráfico de Bland-Altman para la comparación de ángulos posturales sin mochila y con mochila del lado derecho en el plano sagital izquierdo; (b) Diagrama de cajas para la comparación de ángulos posturales sin mochila y con mochila del lado derecho; (c) Gráfico de dispersión entre los ángulos posturales medidos en ambas condiciones.**



(a)



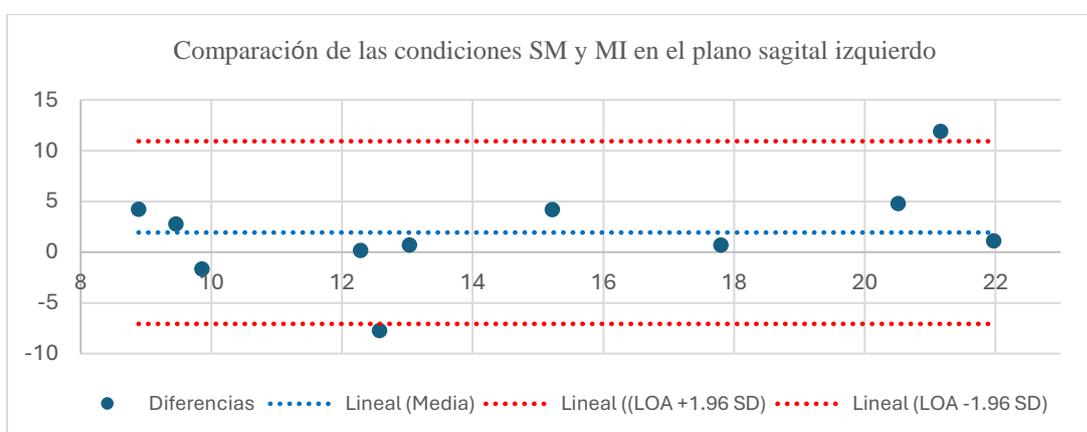
(b)

(c)

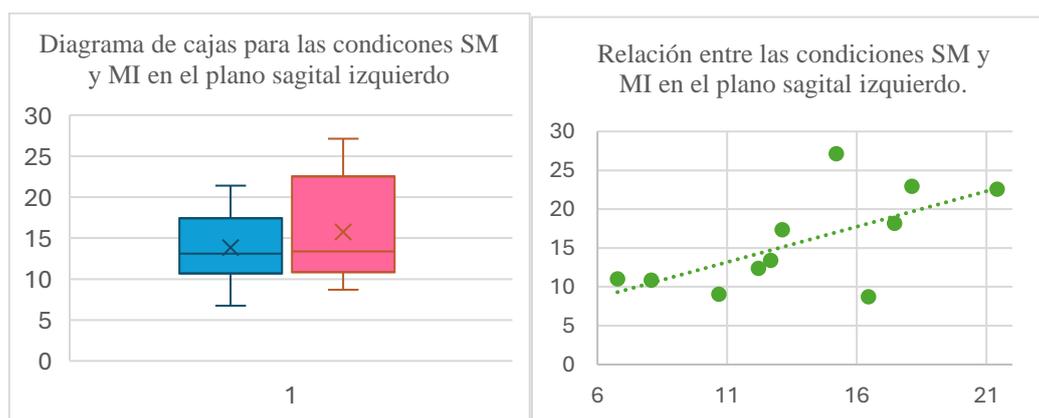
*Nota.* Resultados de las condiciones sin mochila (SM) y con mochila en el lado derecho (MD) en los ángulos delta ( $\delta$ ).

Según la Figura 47 (a) SM y MI presentan una diferencia media del 1,93 en el gráfico Bland-Altman, este resultado significa que los datos varían medianamente entre SM y MI, la diferencia media es positiva, por lo que el promedio de los resultados es mayor con la mochila en el lado izquierdo, tiene una buena concordancia porque la mayoría de las diferencias caen dentro de los límites ( $LOA \pm 1.96 SD$ ), la Figura 47 (b) muestra que SM y MI tienen la misma mediana, significa que no hay variación en los ángulos de SM y MI. Finalmente, la Figura 47 (c) confirma que la mayoría de los participantes no tienen un cambio postural significativo en la condición MI.

**Figura 47 (a) Gráfico de Bland-Altman para la comparación de ángulos posturales sin mochila y con mochila de lado izquierdo en el plano sagital izquierdo; (b) Diagrama de cajas para la comparación de ángulos posturales sin mochila y con mochila de lado izquierdo; (c) Gráfico de dispersión entre los ángulos posturales medidos en ambas condiciones.**



(a)



(b)

(c)

*Nota.* Resultados de las condiciones sin mochila (SM) y con mochila en el lado izquierdo (MI) en los ángulos delta ( $\delta$ ).

A continuación, se presenta la Tabla 22 en donde se visualizan los pesos corporales y los pesos de la mochila de cada participante.

**Tabla 22. Pesos corporales (lb), (kg) y de las mochilas (lb), (kg).**

Participante	Peso (Lb)	Peso (Kg)	Peso con mochila (Lb)	Peso con mochila (Kg)	Peso de la mochila (Lb)	Peso de la mochila (Kg)
1	157	71,201	166	75,283	9	4,081
2	183	82,993	192	87,074	9	4,081
3	150	68,027	159	72,108	9	4,081
4	135	61,224	145	65,759	10	4,535
5	113	51,247	123	55,782	10	4,535
6	242	109,750	256	116,099	14	6,349
7	123	55,782	132	59,863	9	4,081
8	139	63,038	152	68,934	13	5,895
9	105	47,619	119	53,968	14	6,349
10	159	72,108	172	78,004	13	5,895
11	139	63,038	155	70,294	16	7,256

*Nota.* Resultados de los pesos corporales en lb y kg, los pesos con la mochila en lb y kg y los pesos de las mochilas en lb y kg.

En la Tabla 23 se presentan los resultados de porcentaje del peso de la mochila con respecto al peso corporal del participante en la Tabla 22.

**Tabla 23. Resultados del peso de la mochila de cada participante.**

Participante	Resultado en porcentaje (%)
1	5,732
2	4,918
3	6
4	7,407
5	8,849
6	5,785
7	7,317
8	9,352
9	13,333
10	8,176
11	11,510

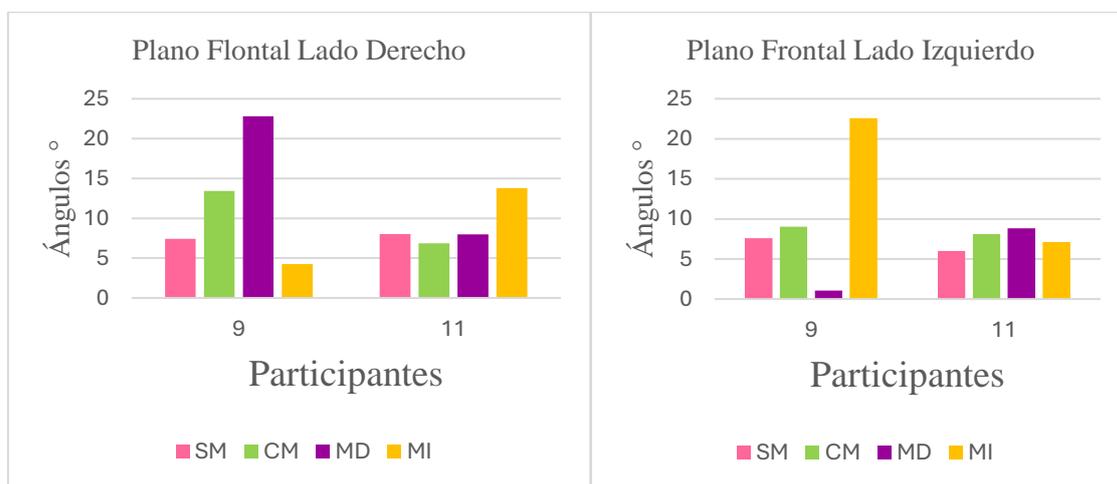
*Nota.* Esta tabla presenta los resultados del porcentaje del peso de la mochila con respecto al peso corporal del participante.

Con el porcentaje de peso calculado se identifica que la mayoría de los participantes tienen un porcentaje menor al 10% de su peso corporal, eso quiere decir que no llevan una sobrecarga en la región cervical. Los participantes 9 y 11 exceden el 10 %, sin embargo, están dentro del rango del 0 al 15 % que es recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2018, citado en Ministerio de Salud, 2018).

En la Figura 48 (a) se presenta un diagrama de barras con los ángulos de los participantes 9 y 11 en el plano frontal derecho e izquierdo, en donde son notorios los cambios de postura en las diferentes condiciones. Para el participante 9, los valores más altos son en el plano frontal lado derecho en la condición mochila en el lado derecho y en el plano frontal lado izquierdo, en la condición mochila lado izquierdo, mientras que para el participante 11 el valor más alto es en el plano frontal lado derecho condición de la mochila en el lado izquierdo.

En las Figura 48 y 49 se puede observar la comparación de ángulos para los participantes 9 y 11. Aquí, el valor más alto para el participante 9, se presenta en la condición de la mochila en el lado izquierdo en el plano sagital lado derecho, mientras que para el participante 11 la condición con la mochila en el lado derecho y en el plano sagital lado izquierdo. El participante 9 tiene un valor mayor en la condición sin mochila mientras que en el participante 11, su ángulo mayor es con la mochila en el lado izquierdo. Estos valores altos pueden asociarse con la sobrecarga de la mochila, haciendo énfasis en los resultados de cargar la mochila de un solo lado.

**Figura 48 Gráficos de barras de los planos frontales a) derecho; b) izquierdo**

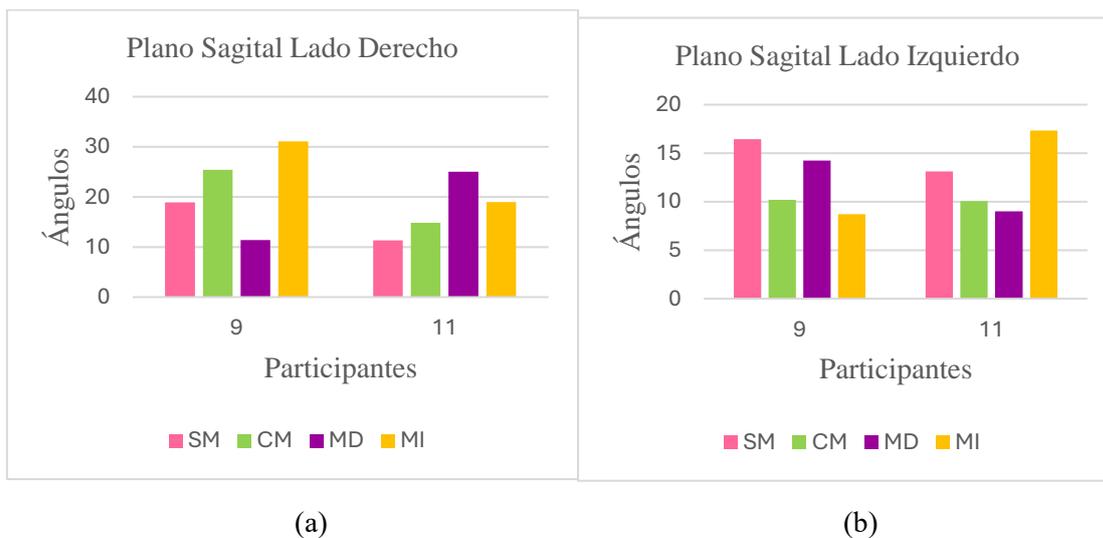


(a)

(b)

*Nota.* Resultados de las condiciones SM, CM, MD y MI en los planos frontal derecho e izquierdo de los participantes que presentaron un alto valor de peso en sus mochilas (mayor al 10%).

**Figura 49 Gráficos de barras de los planos sagitales a) derecho; b) izquierdo.**



*Nota.* Resultados de las condiciones SM, CM, MD y MI, en los planos sagital derecho e izquierdo de los participantes que presentaron un alto valor de peso en sus mochilas (mayor al 10%).

## 8. PRESUPUESTO

En la tabla 24 se presenta el presupuesto para llevar a cabo el desarrollo de este proyecto.

**Tabla 24.**

*Presupuesto para desarrollar la Herramienta Postural Assessment Paty.*

COMPONENTE	VALOR UNITARIO (\$)	VALOR TOTAL (\$)
Autores	10 c/u	5,200
Laboratorio	20/h	1,300
Computadora	800	800
Cuadrícula Postural	30	30
Báscula	30	30
Trípode de celular	20	20
	<b>VALOR TOTAL DEL PROYECTO (\$)</b>	<b>7,380</b>

*Nota.* Presupuesto del proyecto.

## 9. CONCLUSIONES

El diseño e implementación de la herramienta *Postural Assessment and Testinng for You Paty* para la evaluación biomecánica de sobrecargas en la región cervical ha sido exitoso. El sistema permite registrar los ángulos posturales en los planos frontal y sagital derecho e izquierdo y con esta información es posible analizar la postura. Los resultados obtenidos en comparación con el software Kinovea demuestran una alta correlación entre ambos métodos, con diferencias promedio de ángulos menores a  $1^\circ$ , lo que confirma la confiabilidad del sistema para la evaluación postural.

La metodología FMEA permitió identificar de manera sistemática los riesgos en el proceso de evaluación postural, ayudó a priorizar acciones correctivas basadas en criterios objetivos, optimizando la asignación de recursos y con un enfoque preventivo para plantear pasos que permitieron mejorar la confiabilidad de la plataforma.

Respecto a los resultados obtenidos con los participantes, en el análisis de la condición (SM), se obtuvo una correlación de 0,941 en el plano frontal izquierdo, con una diferencia promedio de  $0,727^\circ$ , lo que indica una fuerte relación entre las mediciones de ambas herramientas. Para la condición (CM), la correlación disminuyó a 0,904 con una diferencia promedio de  $1,13^\circ$ , evidenciando un ligero incremento en la variabilidad de los ángulos al cargar peso. Adicionalmente, los datos muestran que al portar la mochila en un solo hombro, especialmente en el derecho, la inclinación del tronco hacia ese lado se incrementa notablemente. Esto se confirma con una correlación de 0,959 y una diferencia media de  $0,34^\circ$  en el plano frontal izquierdo, reflejando una alteración postural significativa en la muestra. En los planos sagitales la inclinación de la cabeza hacia adelante aumentó al llevar la mochila en la espalda, con una correlación de 0,989 y una diferencia promedio de  $0,47^\circ$ .

Las pruebas realizadas con la herramienta *Postural Assessment and Testinng for You Paty* han permitido validar las mediciones de los ángulos posturales en diferentes condiciones de carga, los resultados obtenidos muestran una alta concordancia con los métodos de medición establecidos, respaldando la fiabilidad del sistema. Estos resultados son particularmente relevantes en el contexto de la prevención de alteraciones posturales, ya que permite la detección temprana de desviaciones que podrían derivar en problemas musculoesqueléticos a largo plazo. Se espera continuar con mejoras en el sistema y ampliar el estudio a una muestra mayor para optimizar su funcionalidad y determinar su usabilidad en diferentes contextos

## 10. RECOMENDACIONES

*Postural Assessment and Testinng for You Paty* representa una herramienta útil para la evaluación postural en entornos clínicos y ergonómicos. Todos los componentes utilizados en su desarrollo son accesibles y de fácil implementación, lo que permite su integración en distintos ámbitos de la salud y la prevención postural.

Por lo evidenciado en los resultados, es clave reforzar la educación postural y fomentar el uso adecuado de la mochila para prevenir alteraciones musculoesqueléticas. Se recomienda que el peso de la mochila no supere el 10-15% del peso corporal del usuario, asegurando una distribución equitativa de la carga y colocando los objetos más pesados cerca de la espalda.

Asimismo, se enfatiza en la importancia de evitar el uso de la mochila en un solo hombro, ya que esto genera desbalances posturales, se recomienda el uso de mochilas con dos correas acolchadas, ajustadas a la altura correcta, y preferiblemente con soporte lumbar, correas anchas y ajustables para minimizar la tensión en la columna vertebral.

El monitoreo postural periódico con herramientas como *Postural Assessment and Testinng for You Paty* es recomendable para la detección temprana de desviaciones y su corrección oportuna. No obstante, en caso de molestias recurrentes o alteraciones posturales severas, se aconseja la consulta con fisioterapeutas o especialistas en el área para recibir tratamientos y recomendaciones específicas que permitan corregir la postura de manera efectiva.

## 11. REFERENCIAS

1. Aguilar Moreno, N. A., & Taboada Aranza, O. (2013). Frecuencia de maloclusiones y su asociación con problemas de postura corporal en una población escolar del Estado de México. *Boletín médico del Hospital Infantil de México*, 70(5), 364-371.
2. Amado Merchán, Á. (2020). Higiene postural y prevención del dolor de espalda en escolares. NPunto, III(27), 1-19. Obtenido de <https://www.npunto.es/content/src/pdfarticulo/5ee22d3e553d3NPvolumen27-4-22.pdf>
3. Anyachukwu, C. C., Amarah, C. C., Atueyi, B. C., Anthony, I., Nweke, M., & Abaraogu, U. (2024). Effectiveness of back care education programme among school children: a systematic review of randomized controlled trials. *BMC Pediatrics*, 24(1). <https://doi.org/10.1186/s12887-024-04563-y>
4. Barba, S. (2017). Análisis de la prevalencia de trastornos músculo-esqueléticos en cuidadores de niños con parálisis cerebral. [Tesis de pregrado, Universidad de las Américas de Ecuador]. Repositorio Universidad de las Américas. <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/8159>
5. Beltrán Albarracín, D. A. (2022). *Validación de kinovea como herramienta para el análisis de posturas en tareas sedentarias: validación de kinovea con fotogrametría* (Bachelor's thesis, Quito: EPN, 2022.). <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/23229>
6. Casado Morales, M.<sup>a</sup> Isabel, Moix Queraltó, Jenny, & Vidal Fernández, Julia. (2008). Etiología, cronificación y tratamiento del dolor lumbar. *Clinica y Salud*, 19(3), 379-392. Recuperado en 14 de enero de 2025, de [http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1130-52742008000300007&lng=es&tlng=es](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1130-52742008000300007&lng=es&tlng=es).
7. Cilveti Gubía, S., & Idoate García, V. (2000). Posturas forzadas. Instituto Navarro de Salud Laboral, Departamento de Salud del Gobierno de Navarra. Recuperado de <https://www.sanidad.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/docs/posturas.pdf>
8. Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades. (2019). *Estadísticas de discapacidad*. Consejo discapacidades.gob.ec. <https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadisticas-de-discapacidad/>
9. Domínguez Gasca, L. G., Alcocer Maldonado, J. L., & Domínguez Carrillo, L. G. (2018). Síndrome miofascial cervical por comunicación escrita en teléfono celular. *Acta Médica Grupo Ángeles*, 16(2), 108-112. Recuperado de [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1870-72032018000200108&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1870-72032018000200108&script=sci_arttext)
10. Espinoza, A. (2018). Alteraciones posturales y factores de riesgo en escolares de 8 a 13 años de una institución educativa pública, año 2016. *Revista Conrado*, 14(61), 53-57. Recuperado en 29 de septiembre de 2024, de

- [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1990-86442018000100008&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1990-86442018000100008&lng=es&tlng=es).
11. García-Calvente M., Mateo-Rodríguez I., Maroto-Navarro G., El impacto de cuidar en la salud y la calidad de vida de las mujeres. España, *Gac Sanit*, 2004; Vol: 18(2), pp: 83-92.
  12. Goulème N, Seassau & M, Bucci MP. (2015). The effect of face exploration on postural control in healthy children. *Gait Posture*, 42(2):178-85. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2015.05.007>
  13. Hernández, RE, Álvarez, MS y Solano, BA (2017). Riesgo de alteraciones musculoesqueléticas en cuidadores informales de personas con parálisis cerebral. *vol. 26* , 107-112. (2ª ed.). España.
  14. Jurado Tamayo, PC (2021). *Prevalencia de trastornos músculoesqueléticos y posturas forzadas en el personal del servicio de rehabilitación y fisioterapia de una institución hospitalaria* [Tesis de grado, Universidad Internacional SEK]. Repositorio UISek. [https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/4150/1/Jurado % 20Tamayo % 20Pamela % 20Carolina .pdf](https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/4150/1/Jurado%20Tamayo%20Pamela%20Carolina.pdf)
  15. Kamble, A., Naik, S., Phadke, S., & Tilak, P. (2022). Analysis Of Working Posture Using Kinovea Software to Identify the Incidence of Forward Head Among Bank Employees: A Cross-Sectional Study. *IJFMR*, 4(6), 1-8. [https://www.researchgate.net/profile/Surabhi-Naik-3/publication/371566871\\_Analysis\\_of\\_Working\\_Posture\\_using\\_Kinovea\\_Software\\_to\\_Identify\\_the\\_Incidence\\_of\\_Forward\\_Head\\_among\\_Bank\\_Employees\\_A\\_Cross-sectional\\_Study/links/648a1cf19bc5e436682fa07e/Analysis-of-Working-Posture-using-Kinovea-Software-to-Identify-the-Incidence-of-Forward-Head-among-Bank-Employees-A-Cross-sectional-Study.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Surabhi-Naik-3/publication/371566871_Analysis_of_Working_Posture_using_Kinovea_Software_to_Identify_the_Incidence_of_Forward_Head_among_Bank_Employees_A_Cross-sectional_Study/links/648a1cf19bc5e436682fa07e/Analysis-of-Working-Posture-using-Kinovea-Software-to-Identify-the-Incidence-of-Forward-Head-among-Bank-Employees-A-Cross-sectional-Study.pdf)
  16. Klishkovskaya, T., Andryukhina , A., & Stolyarov , A. (2020) . Desarrollo de algoritmos de clasificación para la detección de ejercicios de rehabilitación utilizando un sensor Kinect V2. *Applied Sciences*, 10 (11), 4028. <https://doi.org/10.3390/app10114028>
  17. León-Duarte, J. A., Martínez-Cadena, G., & Olea-Miranda, J. (2021). Sistema automatizado de análisis de movimiento para la detección del factor de riesgo ergonómico en la industria de la construcción. *Información tecnológica*, 32(6), 213-220. [https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642021000600213&script=sci\\_arttext#B13](https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642021000600213&script=sci_arttext#B13)
  18. López, T. C. (2012). Los tiempos del cuidado. El impacto de la dependencia de los mayores en la vida cotidiana de sus cuidadores. *Cuadernos de Relaciones Laborales*, 30(1), 264-267.
  19. Mrozkowiak, M., & Stępień-Słodkowska, M. (2022). The impact of a school backpack's weight, which is carried on the back of a 7-year-old students of both sexes, on the features

- of body posture in the frontal plane. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 14, 57. <https://doi.org/10.1186/s13102-022-00448-8>
20. Ministerio de Salud. (2018). Mochila escolar no debe exceder del 15% del peso del estudiante: Informe de la OMS. Instituto Nacional de Salud.
  21. Oliveira, C., Navarro García, R., Ruiz Caballero, J. A., & Brito Ojeda, E. (2007). Biomecánica de la columna vertebral. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Recuperado de [https://accedcris.ulpgc.es/bitstream/10553/5983/1/0514198\\_00012\\_0005.pdf](https://accedcris.ulpgc.es/bitstream/10553/5983/1/0514198_00012_0005.pdf)
  22. Proaño Almache, M., & Haro Romero, K. (2018). *Síndrome de sobrecarga y su impacto en la calidad de vida de cuidadores de pacientes con parálisis cerebral espástica* [Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Repositorio PUCE. [http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/15973/Disertaci%3%b3n\\_KarinaHaro\\_Mar%3%adaFernandaProa%3%blo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/15973/Disertaci%3%b3n_KarinaHaro_Mar%3%adaFernandaProa%3%blo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
  23. Puig-Diví, A., Escalona-Marfil, C., Padullés-Riu, JM, Busquets, A., Padullés-Chando, X., & Marcos-Ruiz, D. (2019). Validez y confiabilidad del programa Kinovea en la obtención de ángulos y distancias mediante coordenadas en 4 perspectivas. *Más uno*, 14 (6), e0216448. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0216448>
  24. Real Academia Española. (2011). *Diccionario de la lengua española* (22.ª ed.). Espasa. <https://www.rae.es>
  25. Rodríguez, M. P., Delgado, R. A., & Velázquez, L. M. C. (2022). Prevalencia de desviaciones de la columna vertebral en escolares desde 6-12 años de edad, Riobamba. *GADE: Revista Científica*, 2(3), 237-253. <https://revista.redgade.com/index.php/Gade/article/view/128/29>
  26. Romero Rodríguez, C. V. (2019). *Reconocimiento de imágenes para detección temprana de alteraciones posturales* (Master's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial. Maestría en Automatización y Sistemas de Control).
  27. Runco, A., & Lanzarini, L. C. (2017). Herramientas de software aplicadas a la educación física: objeto de aprendizaje Kinovea. XII Congreso de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología, 122-132. Universidad Nacional de La Plata. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/63374>
  28. Salazar, E. A., & Espitia, J. F. (2020). Sistema de visión enfocado en la ayuda a fisioterapeutas para el diagnóstico en la evaluación postural estática en dos planos. <https://repositorio.umariana.edu.co/bitstream/handle/20.500.14112/28086/Sistema%20De%20Visi%3%b3n%20Enfocado%20En%20La%20Ayuda%20A%20Fisioterapeutas>

- [%20Para%20El%20Diagn%3%b3stico%20En%20La%20Evaluaci%3%b3n%20Postural%20Est%3%a1tica%20En%20Dos%20Planos.pdf?sequence=1&isAllowed=y](#)
29. Santos ES, Bernardes JM, Noll M, Gómez-Salgado J, Ruiz-Frutos C & Dias A. (2021). Prevalence of Low Back Pain and Associated Risks in School-Age Children. *Pain Manag Nurs*, 22(4):459-64. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pmn.2021.01.017>
  30. Venegas Toro, W. (2021). Modelado biomecánico del cuello basado en la imagen cinemática de la función articular para su aplicación en tecnologías para la salud y el bienestar del ser humano (Tesis doctoral). Universitat Politècnica de València, España. Recuperado de <file:///C:/Users/DELL/Downloads/Venegas%20-%20Modelado%20biomecanico%20del%20cuello%20basado%20en%20la%20imagen%20cinematica%20de%20la%20funcion%20articular%20....pdf>
  31. Wees-Verhelst, Y, Merlano-Tous, N & Viscaino-Rodríguez, R. (2014). Alteraciones posturales en una comunidad escolar en Cartagena, Colombia. . *Revista Ciencias Biomédicas*, vol. 5, p. 220-226. ((2014)). Universidad de Cartagena. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11227/10702>
  32. Wang, J., y Huang, A. (2021). Image recognition of martial arts movements based on FPGA and image processing. *Microprocessors and Microsystems*, 80(October 2020), 103536. <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2020.103536>
  33. Wilczyński J, Lipińska-Stańczak M & Wilczyński I. (2020). Body Posture Defects and Body Composition in School-Age Children. *Children*, 7(11):204. DOI: <https://doi.org/10.3390/children7110204>
  34. Wu, Z., Zhang, J., Chen, K., y Fu, C. (2019). Yoga posture recognition and quantitative evaluation with wearable sensors based on two-stage classifier and prior bayesian network. *Sensors (Switzerland)*, 19(23), 1–19. <https://doi.org/10.3390/s19235129>
  35. Yebra, J. A. (2019). Detección de alteraciones posturales en la columna vertebral en el centro escolar. *La Barca de Teseo*, 6(2), 4-11. <https://revie.gob.do/index.php/revie/article/view/20/15>
  36. Zmysłna A, Żurawski AŁ, Śliwiński G, Śliwiński ZW & Kiebzak WP. (2021). Assessment of Body Posture of Children With Chest Pain. *Front Pediatr*, 9:704087. DOI: <https://doi.org/10.3389%2Ffped.2021.704087>
  37. *Zygote Body*. (s.f.). *Zygote Body - 3D Human Anatomy Online Visualizer*. Recuperado el [fecha de acceso], de <https://www.zygotebody.com>

## ANEXOS

### A1. Manual de usuario

#### Introducción

La herramienta *Paty* ha sido desarrollada para la evaluación biomecánica de sobrecargas en la región cervical. Esta herramienta permite medir y analizar los ángulos posturales a partir de imágenes capturadas por una cámara.

Esta herramienta se ejecuta desde un entorno de desarrollo en Visual Studio Code y requiere la instalación de las librerías PyQt5 y ReportLab.

Este manual proporciona los pasos para instalar las dependencias necesarias, configurar el entorno, y ejecutar la herramienta.

#### Requisitos del Sistema

1. Python 3.13.1 o superior

*Paty* está desarrollada con Python 3.13.1. Asegúrate de tener esta versión instalada en tu sistema.

2. Visual Studio Code

Para ejecutar y modificar la herramienta *Paty*, se utiliza Visual Studio Code (VS Code), un entorno de desarrollo integrado (IDE).

3. Librerías necesarias

La herramienta utiliza las siguientes librerías que deben ser instaladas:

PyQt5: Para la interfaz gráfica de usuario (GUI).

ReportLab: Para la generación de reportes en formato PDF.

#### Uso de la Herramienta *Paty*

1. Abrir el Proyecto en Visual Studio Code
  1. Abre Visual Studio Code.
  2. En la barra superior, selecciona Archivo > Abrir Archivo y selecciona el archivo donde está el código fuente de la herramienta *Paty*.

#### Ejecutar la Herramienta

1. En la barra superior de Visual Studio Code, haz clic en los tres puntos verticales y selecciona Terminal > Nuevo Terminal para abrir una terminal integrada.

2. Ejecuta la herramienta en la terminal integrada de Visual Studio Code usando el siguiente comando: `python nombre_del_archivo.py`
3. Esto iniciará la interfaz gráfica de la herramienta.

## **Interacción con la Interfaz Gráfica**

### **Carga de Imágenes**

1. Abra la aplicación y seleccione "Cargar imagen".
2. Elija la imagen correspondiente al plano frontal o sagital.
3. Asegúrese de seguir el protocolo de captura de imagen.

### **Marcado de Puntos de Referencia**

1. Para el análisis en el plano frontal, marque cinco puntos en las siguientes áreas:
  - Incisura yugular.
  - Acromion derecho e izquierdo.
  - Puntos de evaluación alineados paralelamente con los acromiones.
2. Para el análisis en el plano sagital, marque tres puntos:
  - Acromion.
  - Trago de la oreja.
  - Punto de evaluación en el trago de la oreja.
3. La herramienta generará automáticamente las líneas de referencia y facilitará la medición de ángulos.

### **Cálculo de Ángulos**

1. Presione el botón "Calcular ángulo" en el plano frontal o sagital según corresponda.
2. Los resultados se mostrarán en la interfaz como "Aceptable" o "Sobrecarga", dependiendo de los valores obtenidos.

### **Cálculo del Peso de la Mochila**

1. Ingrese el peso corporal del usuario y el peso de la mochila en los campos correspondientes.
2. Presione "Calcular porcentaje" para determinar la carga relativa de la mochila.
3. La herramienta mostrará si el peso está dentro de los límites recomendados o si supone una sobrecarga.

### **Generación de Reportes**

1. Presione el botón "Generar PDF" para crear un informe detallado con los resultados del análisis.
2. El usuario podrá seleccionar la ubicación de almacenamiento del archivo.

3. El informe incluirá las imágenes analizadas con sus puntos de referencia, los valores de los ángulos y la evaluación del peso de la mochila.

### **Solución de Problemas**

- Si la imagen no carga, verifique que esté en formato JPG o PNG.
- Si los puntos de referencia no se marcan correctamente, reinicie la selección utilizando el botón "Reiniciar marcadores".

### **Recomendaciones de Uso**

Para garantizar la uniformidad en la evaluación postural con **Postural Assessment and Testing for You PATTY**, se recomienda seguir los protocolos.

Antes de iniciar la evaluación, el usuario debe posicionarse frente a la cuadrícula postural con los pies ligeramente separados y adoptar una postura natural. Es esencial que las imágenes sean tomadas bajo condiciones de iluminación adecuadas y con una vestimenta ajustada al cuerpo que no interfiera con la identificación de los puntos anatómicos.

Se recomienda asegurarse de que los puntos de referencia sean colocados de acuerdo con las imágenes de guía proporcionadas en la interfaz de la herramienta.

Este manual proporciona las instrucciones necesarias para el uso efectivo de **Postural Assessment and Testing for You PATTY**.

## A2 Consentimiento Informado



### **Consentimiento informado para realizar pruebas de una herramienta para evaluación biomecánica de sobrecargas en la región cervical**

**Investigadoras:** Mosquera Honores Katherine Dayana, Ortega Siavichay Paula Valeria.

**Directora del trabajo de titulación:** Ing. Ana Cecilia Villa Parra PhD.

**Grupo de investigación:** Grupo de Investigación en ingeniería Biomédica (GIIB)

**Nombre del proyecto:** DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLATAFORMA PARA LA EVALUACIÓN BIOMECÁNICA DE SOBRECARGAS EN LA REGIÓN CERVICAL

Este documento de consentimiento informado consta de dos partes:

Información (proporciona información sobre el estudio)

Formulario de Consentimiento (para firmar si está de acuerdo en participar)

#### **PARTE I: Información**

Somos Katherine Mosquera y Paula Ortega, colaboramos con el Grupo de Investigación en Ingeniería Biomédica (GIIB) de la Universidad Politécnica Salesiana (UPS), y nos encontramos realizando nuestro trabajo de titulación para la obtención del título de ingeniero (a) Biomédico de la Universidad Politécnica Salesiana. Nuestro proyecto está enfocado en el desarrollo de una herramienta para la evaluación de sobrecargas en la región cervical. Le vamos a brindar información e invitarle a participar de esta evaluación de la herramienta. Antes de decidirse, puede hablar con la tutora de nuestro proyecto la Ing. Ana Cecilia Villa PhD. sobre la investigación. En el caso si existen palabras que no entienda, podemos detenernos en cualquier momento para que usted se sienta seguro. Además, si tiene preguntas más tarde, puede preguntar a la tutora o a cualquiera de las investigadoras.

#### **Propósito**

Nuestra herramienta para la evaluación biomecánica de sobrecargas en la región cervical surge ante la necesidad de evaluar los efectos de las sobrecargas en dicha zona, por el momento en estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana y a futuro se espera que se pueda utilizar un estudio en niños, ya que son los más vulnerables ante esta problemática. El propósito es desarrollar una herramienta que permita analizar el impacto de las cargas de manera cuantitativa, contribuyendo a la prevención de alteraciones posturales. La metodología incluye el diseño, implementación y validación del prototipo, que será comparado con otras herramientas tradicionales de análisis biomecánico como es el software KINOVEA.

#### **Participación Voluntaria**

Su participación en esta investigación es totalmente voluntaria, usted puede elegir participar o no. Usted puede cambiar de idea más tarde y dejar de participar aun cuando haya aceptado.

## **Procedimientos y Protocolo**

Estimado (a) participante, en el siguiente protocolo se le explica los pasos a seguir para la captura de imágenes, que, posteriormente serán utilizadas para el análisis en la herramienta, este procedimiento de captura tiene una duración de 5 minutos.

### **Protocolo para la captación de imágenes para la evaluación biomecánica de la sobrecarga en la región cervical**

#### **1. Preparación**

##### **1.1 Vestimenta**

Se solicita al participante estar descalzo únicamente en el caso de presentar zapatos con plataformas y usar ropa que no sea holgada, la vestimenta debe de ser de colores diferentes al blanco y negro para evitar confusiones con los colores de la cuadrícula postural.

En el caso de las mujeres, se pide recoger el cabello para permitir una visión clara de los lóbulos de las orejas.

##### **1.2 Posicionamiento en la cuadrícula:**

Se solicita al participante ubicarse frente a la cámara, en la línea media de la cuadrícula, identificada con color rojo.

Se deben mantener los pies ligeramente separados y adoptar una postura natural.

#### **2. Captura de imágenes**

##### **2.1 Disposición inicial:**

Las investigadoras se aseguran de que el participante esté correctamente alineado con la cuadrícula antes de iniciar la captura.

El equipo de captura (trípode y cámara) previamente se configuró según las especificaciones descritas en el protocolo para el montaje del escenario.

##### **2.2 Capturas realizadas:**

Se realizará una foto en el plano frontal y dos fotos en el plano sagital (izquierda y derecha) en las siguientes condiciones, con la mochila de uso diario del participante.

- a. De pies sin usar mochila
- b. De pie llevando la mochila con la correa izquierda.
- c. De pie llevando la mochila con la correa derecha.
- d. De pie llevando la mochila con las dos correas.

Se tomarán entonces 12 fotos en total.

### 2.3 Revisión

Las investigadoras revisarán las imágenes obtenidas para asegurar claridad, visibilidad completa del participante y ausencia de distorsiones o cualquier otro factor que pueda interferir en el análisis de la postura.

### 2.4 Registro de Datos del Participante

Una vez acabado el procedimiento de la captura de imágenes, mientras se revisa las imágenes, se solicita al participante proporcionar la siguiente información.

1. Nombre completo
2. Peso del participante con mochila
3. Peso del participante sin mochila

Los datos se documentarán en un registro para su posterior análisis.

Antes de realizar el análisis con la herramienta desarrollada se difuminará en las fotos el rostro de cada participante para salvaguardar su identidad.

Yo \_\_\_\_\_,  
declaro que he sido informado e invitado a participar en una investigación denominada DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLATAFORMA PARA LA EVALUACIÓN BIOMECÁNICA DE SOBRECARGAS EN LA REGIÓN CERVICAL. Este es un proyecto de investigación científica que cuenta con el respaldo del Grupo de Investigación en Ingeniería Biomédica (GIIB) de la Universidad Politécnica Salesiana. Entiendo que este estudio busca evaluar desviaciones posturales producto de sobrecargas en la región cervical y sé que mi participación se llevará a cabo el día \_\_\_\_\_ en el horario \_\_\_\_\_ y consistirá en capturar 12 fotografías en un lapso de 5 minutos, tal y como se especifica en el protocolo captura de imágenes que me han presentado. Me han explicado que la información registrada no será confidencial, pero que mi información personal sí.

Estoy en conocimiento de que no habrá retribución por la participación en este estudio, que mi información se procesará y usará en beneficio de la sociedad por la naturaleza de la investigación que se está llevando a cabo. Soy consciente de que puedo declinar mi participación o retirarme en cualquier etapa de la investigación, sin expresión de causa ni consecuencias negativas para mí.

He leído la información proporcionada o me ha sido leída. He tenido la oportunidad de preguntar sobre ella y se me ha contestado satisfactoriamente las preguntas que he realizado. Consiento voluntariamente participar en esta investigación y he recibido una copia del presente documento.

Nombre del Participante \_\_\_\_\_.

Firma del Participante \_\_\_\_\_.

Fecha \_\_\_\_\_ (día/mes/ año).