

Investigación original

Caracterización de los cambios en el volumen del muñón en pacientes con amputación transtibial

Characterization of physiological changes in residual limb volume in transtibial amputees

Jaclin Patricia Gaviria Moreno¹ Miguel Ángel Gutiérrez Ramírez²

¹ Médico especialista en Medicina Física y Rehabilitación, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá D.C., Colombia.

² Médico especialista en Medicina Física y Rehabilitación. Profesor asistente, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C., Colombia. Profesor de cátedra, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá D.C., Colombia

Resumen

Introducción. Las amputaciones son eventos que pueden tener consecuencias físicas, psicológicas y laborales en las personas. En Colombia, estas representan una causa importante de limitación física y se asocian principalmente al conflicto armado.

Objetivos. Caracterizar los cambios en el volumen del muñón de un grupo de pacientes con amputación transtibial que iniciaron proceso de protetización en un hospital de Bogotá D.C. (Colombia); identificar los posibles factores asociados a estos cambios y el momento de ocurrencia, y establecer tiempos específicos para la realización de la medición del volumen del muñón durante el proceso de adaptación protésica.

Métodos. Se realizó un estudio prospectivo con una serie de casos que incluyó a pacientes adultos (>18 años) con diagnóstico de amputación transtibial y que iniciaron proceso de protetización en el Servicio de Prótesis y Amputados del Hospital Militar Central de Bogotá D.C. entre enero de 2022 y junio de 2023. Se registraron los datos personales de los participantes, quienes fueron valorados en cuatro oportunidades en las que se les realizó medición de longitud y circunferencias al muñón y escaneo 3D para calcular el volumen del muñón. Se realizó un análisis descriptivo mediante el programa estadístico R. Los datos se describen usando frecuencias absolutas y relativas para las variables cualitativas, y medidas de tendencia central y dispersión para las cuantitativas.

Resultados. Se incluyeron 20 participantes, todos hombres, con una edad media de 34,66 años. 95% de las amputaciones fueron causadas por un artefacto explosivo improvisado, 75% eran en la pierna izquierda y 60% tenían morfología cilíndrica. Se encontró una asociación significativa entre el tiempo de uso de la prótesis y el nivel de actividad del paciente. Se observó que los cambios en el volumen, la longitud y la circunferencia del muñón no siguen un patrón uniforme y varían entre individuos; sin embargo, en los muñones de morfología bulbosa solo se observaron reducciones de volumen, sin aumento en las medidas. No se encontraron asociaciones significativas entre las características sociodemográficas de los participantes y los cambios de volumen del muñón.

Conclusión. No se identificó un factor o una condición sociodemográfica que tenga un efecto significativo en los cambios de volumen del muñón. Además, no fue posible establecer valores específicos de variabilidad ni predecir cuándo ocurrirán cambios en el volumen del muñón; por lo tanto, no fue posible establecer momentos específicos para realizar mediciones al muñón.

Palabras clave. Amputación, prótesis e implantes, muñones de amputación, traumatismos de la pierna.



Citación. Gaviria Moreno JP, Gutiérrez Ramírez MA. Caracterización de los cambios en el volumen del muñón en pacientes con amputación transtibial. Rev Col Med Fis Rehab. 2025;35(1), e441. <http://doi.org/10.28957/rcmfr.441>.

Correspondencia. Jaclin Patricia Gaviria Moreno. Correo electrónico: fisiatrapatty@gmail.com

Recibido. 25.04.24. **Aceptado.** 17.06.25; **Publicado.** 30.06.25.

ISSN impreso. 0121-0041. **ISSN electrónico.** 2256-5655.

Abstract

Introduction. Amputations are events that can have physical, psychological, and occupational consequences on individuals. In Colombia, these represent an important cause of physical limitation and are mainly associated with armed conflict.

Objectives. To characterize changes in stump volume in a group of patients with transtibial amputations who began the prosthetic fitting process at a hospital in Bogotá D.C. (Colombia); to identify possible factors associated with these changes and their time or occurrence; and to establish specific times for measuring the stump volume during the prosthetic adaptation process.

Methods. A prospective study was conducted with a series of cases that included adult patients (>18 years) diagnosed with transtibial amputation and who began the prosthetic fitting process at the Prosthetics and Amputee Service of the Central Military Hospital (Hospital Militar Central) of Bogotá D.C. between January 2022 and June 2023. The personal data of the participants, who were assessed on four occasions in which their stump length and circumference were measured and 3D scanned to calculate the stump volume, were recorded. A descriptive analysis was performed using the R statistical software. The data are described using absolute and relative frequencies for qualitative variables, and measures of central tendency and dispersion for quantitative variables.

Results. A total of 20 participants were included, all men, with a mean age of 34.66 years. 95% of the amputations were caused by an improvised explosive device, 75% were in the left leg and 60% had cylindrical morphology. A significant association was found between the time of use of the prosthesis and the activity level of the patient. It will be observed that changes in the volume, length and circumference of the stump do not follow a uniform pattern and vary between individuals; However, in the stumps of bulbous morphology, only reductions in volume were observed, without an increase in measurements. No significant associations were found between sociodemographic characteristics of the participants and changes in stump volume.

Conclusion. No sociodemographic factor or condition was identified as having a significant effect on stump volume changes. In addition, it was not possible to establish specific variability values or predict when changes in the stump volume will occur; therefore, it was not possible to establish specific times to perform measurement of the stump.

Keywords. Amputation, prosthesis and implants, amputation stumps, leg trauma.



Introducción

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), aproximadamente el 16% de la población mundial, es decir, 1.300 millones de personas, presenta una discapacidad importante, y esta cifra va en aumento debido al incremento de los casos de enfermedades crónicas no transmisibles y el envejecimiento poblacional¹. Las amputaciones son eventos devastadores en la vida de una persona que pueden tener consecuencias físicas, psicológicas y laborales².

En Colombia, las amputaciones representan una causa importante de limitación física y se asocian principalmente al conflicto armado. Según la Oficina del Alto Comisionado para la Paz, desde 1990 en el país se han registrado 12.409 víctimas de minas antipersonas, concentrándose el 55,2% de los incidentes en cinco departamentos: Antioquia, Meta, Nariño, Caquetá y Norte de Santander^{3,5}.

La decisión de realizar una amputación busca mejorar la condición de salud del paciente,

maximizando su independencia y posibilidad de recuperación de la marcha^{5,6}, y resulta en un proceso complejo, en especial cuando la amputación obedece a causas isquémicas o vasculares, tumores, infección o deformidad⁷. Los niveles de amputación en el miembro inferior varían e incluyen: desarticulación del tobillo, transtibial, desarticulación de rodilla, transfemoral y desarticulación de cadera^{8,9}. Para que una amputación se considere exitosa, el muñón resultante debe cumplir las siguientes características específicas: piel elástica, cicatriz indolora, hueso estable y musculatura balanceada para facilitar la adaptación protésica^{10,11}.

Una prótesis transtibial tiene cinco componentes principales: interfaz, socket, sistema de suspensión, pión y pie protésico^{7,12,13}, y para su diseño se deben tener en cuenta también factores sociodemográficos y clínicos como peso, edad, estado del muñón, patologías asociadas y nivel de actividad física del paciente.

Los cambios en el volumen del muñón son más frecuentes durante los primeros 12 a 18 meses post-amputación y son originados por mecanismos

fisiológicos como la acumulación sanguínea, la vasodilatación y las modificaciones en líquidos intersticiales^{14,15}. Estos cambios pueden medirse a través de diferentes métodos como: inmersión en agua, cálculos matemáticos, ultrasonido, imágenes médicas, bioimpedancia y sistemas CAD/CAM, siendo este último el método más confiable.

La literatura científica destaca que la funcionalidad de la prótesis constituye el factor más relevante para el usuario, por encima de consideraciones estéticas o de peso^{6,16}.

Teniendo en cuenta lo anterior, los objetivos del presente estudio fueron caracterizar los cambios que se presentan en el volumen del muñón de un grupo de pacientes con diagnóstico de amputación transtibial que iniciaron su proceso de protetización en un hospital de tercer nivel de atención de Bogotá D.C. (Colombia); identificar los posibles factores asociados a la aparición de estos cambios y el momento de ocurrencia, y establecer tiempos específicos para la realización de la medición del volumen del muñón durante el proceso de adaptación protésica, lo cual, finalmente, podría reducir costos económicos al sistema de salud.

Métodos

Tipo de estudio y población de estudio

Se realizó un estudio observacional prospectivo tipo serie de casos. La selección de la muestra fue no probabilística por conveniencia y se consideraron todos los pacientes adultos (>18 años) con amputación transtibial que iniciaron su proceso de protetización en el servicio de prótesis y amputados del Hospital Militar Central de Bogotá D.C. entre enero de 2022 y julio de 2023, y que firmaron el consentimiento informado. Se excluyeron a los pacientes que tenían heridas abiertas, que no usaban prótesis o que interrumpieron el proceso de protetización.

El tamaño de muestra mínimo fue calculado en el programa Epidat 4.2 para una correlación de 0,60 entre el tiempo de uso de prótesis y cambio de volumen, con un nivel de confianza del 95% y una potencia del 80% en un análisis a dos colas, estimando un mínimo de 20 sujetos.

Procedimientos

La recolección de datos se realizó en la sala de marcha del servicio, en donde a los pacientes se les explicaron los objetivos del estudio y se les solicitó la firma del consentimiento informado. En una base de datos del programa Microsoft Excel se registraron los datos sociodemográficos de los participantes y para la medición del volumen del muñón se utilizó el sistema RODIN M4D Scan con un programa de diseño asistido por computadora (CAD/CAM); se tomaron medidas manuales y el muñón se escaneó con el paciente en posición sedente (Figura 1). Las mediciones de volumen se realizaron en cuatro momentos: 1) al inicio del proceso de protetización, 2) al inicio del uso del socket de prueba, 3) un mes después del inicio de uso del socket de prueba y 4) a los tres meses del uso de la prótesis definitiva. Las unidades utilizadas fueron decímetros cúbicos (dm³) para el volumen y centímetros (cm) para la longitud y las circunferencias.



Figura 1. Cálculo de volumen del muñón mediante el programa CAD/CAM.

Fuente: imagen obtenida durante la realización del estudio.

Variables

En el estudio se incluyeron variables de naturaleza cuantitativa y cualitativa, con niveles de medición nominal y de razón. Se evaluaron características

sociodemográficas, clínicas y funcionales, incluyendo edad, género, índice de masa corporal (IMC), lateralidad, motivo de amputación, comorbilidades, uso de prótesis, tipo de socket, fuerza muscular, morfología, volumen del muñón y nivel de actividad y duración diaria de la actividad física.

Análisis estadístico

Para minimizar errores, la información fue revisada por un segundo evaluador y se utilizó un análisis estadístico detallado. Los datos se describen usando frecuencias absolutas y relativas para las variables cualitativas, y medidas de tendencia central y dispersión para las cuantitativas. La distribución de los datos se verificó con las prueba Shapiro-Wilk, y los análisis confirmatorios incluyeron Chi², prueba exacta de Fisher, prueba T pareada y prueba de rangos con signo de Wilcoxon. Las correlaciones se calcularon con los coeficientes de Pearson y Spearman.

El análisis se realizó con los programas Stata 14 y SPSS V22, con un nivel de confianza del 95%.

Resultados

Se reclutaron 22 pacientes para participar en el estudio; sin embargo, dos de ellos fueron excluidos debido a que suspendieron el proceso de prototización por complicaciones médicas, por lo que la muestra final estuvo conformada por 20 participantes.

Todos los participantes fueron hombres (100%) y 55% se ubicaron en el rango de edad de 26 a 35 años, con una edad promedio de 34,66±13,38 años. La edad mínima registrada fue de 20 años, mientras que la máxima fue de 86 años.

Al 95% (n=19) de los participantes se les había realizado la amputación transtibial como resultado de un trauma causado por un artefacto explosivo improvisado; estos pacientes tenían un nivel de actividad K3. El porcentaje restante (5%), que corresponde a una persona de edad avanzada, sufrió la amputación como consecuencia de una enfermedad vascular periférica y tenía un nivel funcional K1.

En lo que respecta a la lateralidad de las amputaciones, 15 (75%) casos eran del lado izquierdo y 5 (25%) del lado derecho. En cuanto a la morfología del muñón, se encontró que la más común fue la cilíndrica, presente en 12 (60%) pacientes, seguida por la bulbosa y la cónica, con tres pacientes cada una (30%); por el contrario, la menos común fue la cuadrangular, registrada únicamente en dos (10%) participantes.

La fuerza muscular en todos los pacientes se encontró dentro de los parámetros normales, con una distribución equitativa entre los niveles 4 y 5 en la escala de Daniels, presentándose en una proporción de 50/50.

El IMC evidenció que 60% de los participantes tenían peso normal y 40% presentaban sobrepeso, con un peso promedio de 70 kg. Solo dos participantes (10%) reportaron antecedentes de hipertensión arterial, el resto (80%) no refirió enfermedades distintas a las relacionadas con el proceso de amputación.

En la Tabla 1 se presentan las características sociodemográficas y clínicas de los participantes y en la Tabla 2, los volúmenes y las diferencias de volúmenes de estos.

Tabla 1. Características sociodemográfica y clínicas de la muestra.

Variable	Categoría	Frecuencia absoluta (n)	Frecuencia relativa (%)
Género	Masculino	20	100
	Femenino	0	0
Índice de masa corporal	Peso normal	12	60
	Sobrepeso	8	40
Motivo de la amputación	Traumático	19	95
	Médico	1	5
Lateralidad amputación	Izquierda	15	75
	Derecha	5	25
Antecedentes médicos	Hipertensión arterial	2	10
	Sin otros antecedentes	18	90
Peso corporal promedio		70 kg	

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Volúmenes y diferencias de volúmenes.

	Vol 1	Vol 2	Vol 3	Vol 4	Diferencia volumen 2-1	Diferencia volumen 3-2	Diferencia volumen 4-2
Media	1,26	1,22	1,15	1,03	0,04	0,07	-0,17
Mediana	1,15	1,28	1,18	1,02	-0,01	0,06	-0,14
Valor mínimo	0,48	0,33	0,57	0,42	-0,46	-0,29	-0,61
Valor máximo	2,13	2,02	1,73	1,54	0,62	0,35	0,70
Desviación estándar	0,49	0,46	0,35	0,33	0,24	0,17	0,31
Q1	0,94	0,84	0,85	0,81	-0,11	0,03	-0,46
Q3	1,73	1,57	1,41	1,39	0,17	0,14	-0,04
Promedio de reducción					0,24	0,13	0,24
Promedio de aumento					0,13	0,13	0,27

Vol: volumen; Q1: primer cuartil; Q3: tercer cuartil.

Nota: los valores negativos indican aumento de la medida del volumen del muñón.

Fuente: elaboración propia.

La media de la reducción del volumen antes de iniciar el uso de la prótesis, en comparación con el tiempo dedicado a la realización de actividad física, fue mayor en el grupo que practica actividad física tres veces a la semana durante más de 75 minutos, con un valor de 0,19 y una relación de 2 a 1 en decímetros cúbicos con respecto a quienes practican actividad física durante menos de 50 minutos; sin embargo, es probable que no haya diferencias significativas entre el tiempo de realización de la actividad física y la diferencia de volumen durante el tiempo previo al inicio del uso de la prótesis formulada debido a que el valor p fue de 0,35.

La mediana de la diferencia de volumen del muñón durante el primer mes del uso de la prótesis fue de 0,08 dm³ para aquellos que no realizaban actividad física, y de 0,04 dm³ para quienes sí la realizaban.

La diferencia de volumen del muñón en el primer mes de haber iniciado el uso de la prótesis y el tiempo de uso de esta durante el día mostró una media de 0,04 dm³ para aquellos que la utilizaban durante menos de seis horas al día, mientras que para quienes sobrepasaban ese tiempo fue de 0,09 dm³.

Al comparar la morfología del muñón con los cambios de volumen previos al inicio del uso de la prótesis, se observó que no hay diferencias significativas entre ninguna de las categorías según los resultados de la prueba de rangos con signos de Wilcoxon y el método de ajuste de Holm, con un valor $p=0,42$ para la morfología Bulbosa vs Cilíndrica

y un valor $p=1,00$ para los demás. De igual manera, durante el seguimiento de los cambios de volumen se obtuvo un valor $p=1$ en todas las categorías.

Además, se observó que quienes usaban la prótesis por más de 4,1 horas al día no tenían reducciones mayores a 0,35 dm³ y que los que la usaban durante más de 6,1 horas al día presentaban un máximo aumento de volumen de 0,08 dm³.

La correlación de Pearson/Spearman para el tiempo de uso de la prótesis y las diferencias de volumen fueron débiles en su totalidad, con una correlación positiva de 0,150 para la diferencia de volumen 3-2 y correlaciones negativas de -0,148 para las diferencias de volumen 4-3 y de -0,084 para las diferencias de volumen 4-2.

Las diferencias que se observaron en el volumen del muñón durante el tiempo que los pacientes ya disponían y hacían uso de la prótesis tuvo un valor p en la prueba de Wilcoxon de 0,000414, lo cual contrasta con los valores obtenidos entre las múltiples diferencias de volumen (2-1, 3-2 y 4-2) y el IMC, la actividad física y la actividad ocupacional (Tabla 3), lo cual sugiere que no hay diferencia estadísticamente significativa entre ellas.

Al analizar las diferencias de volumen del muñón entre las mediciones realizadas, se evidenció que el IMC presentó variaciones de 0,15 entre la primera y segunda medición, de 0,79 entre la segunda y la tercera, y de 0,85 entre la segunda y la cuarta. En cuanto a la actividad física, las diferencias fueron

de 0,31 entre la primera y segunda medición, de 0,48 entre la segunda y la tercera y de 0,57 entre la segunda y la cuarta. Para la actividad ocupacional, se registraron diferencias de 0,82 entre la primera y segunda medición, de 0,37 entre la segunda y la tercera y de 0,76 entre la segunda y la cuarta. Se observó una correlación positiva

entre el volumen inicial y el registrado antes del uso de la prótesis (0,92) y al mes de uso (0,94), aunque esta fue más débil a los cuatro meses (0,69). En contraste, la diferencia de volumen antes del uso de la prótesis tuvo una correlación negativa al mes (-0,51) y a los cuatro meses (-0,04) (Figura 2).

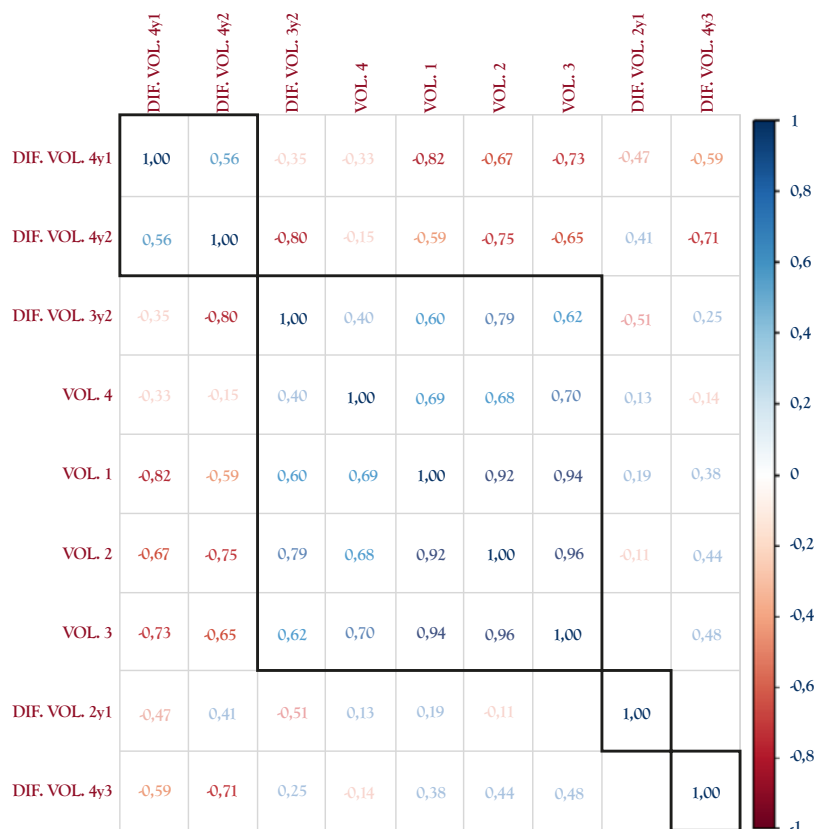


Figura 2. Correlación de volúmenes.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Correlaciones de volúmenes del muñón en las diferentes mediciones.

	Vol 1	Vol 2	Dif Vol 2-1	Vol 3	Dif vol 3-2	Vol 4	Dif vol 4-1	Dif vol 4-3	Dif vol 4-2
Vol1		0,0000	0,0955	0,0000	0,0388	0,0001	0,0002	0,1845	0,0344
Vol 2	0,0000		0,6125	0,0000	0,0000	0,0003	0,0079	0,0919	0,0008
Dif Vol 2-1	0,0955	0,6125		0,7390	0,0267	0,5145	0,0649	0,6673	0,1443
Vol 3	0,0000	0,0000	0,7390		0,0179	0,0000	0,0041	0,0799	0,0083
Dif vol 3-2	0,0388	0,0000	0,0267	0,0179		0,0885	0,1914	0,3370	0,0006
Vol 4	0,0001	0,0003	0,5145	0,0000	0,0885		0,6142	0,2367	0,9848
Dif vol 4-1	0,0002	0,0079	0,0649	0,0041	0,1914	0,6142		0,0002	0,0004
Dif vol 4-3	0,1845	0,0919	0,6673	0,0799	0,3370	0,2367	0,0002		0,0000
Dif vol 4-2	0,0344	0,0008	0,1443	0,0083	0,0006	0,9848	0,0004	0,0000	

Vol: volumen; Dif: diferencia.

Fuente: elaboración propia.

El promedio de variabilidad de los volúmenes del muñón a lo largo del estudio fue mayor en cuanto al aumento, cuyo rango osciló entre 2,5% (0,021 dm³) y 28% (0,26 dm³), que en cuanto a la reducción, cuyo rango osciló entre 0,7% (0,008 dm³) y 25% (0,25 dm³) (Figura 3). Las medias de los volúmenes

disminuyeron progresivamente en cada una de las tomas; sin embargo, estas diferencias no fueron significativas dado que se observó que los intervalos de confianza se intersecan. Lo anterior se confirmó con la matriz de valores p, en la cual, al comparar todos los volúmenes, se obtuvo un valor p=1.

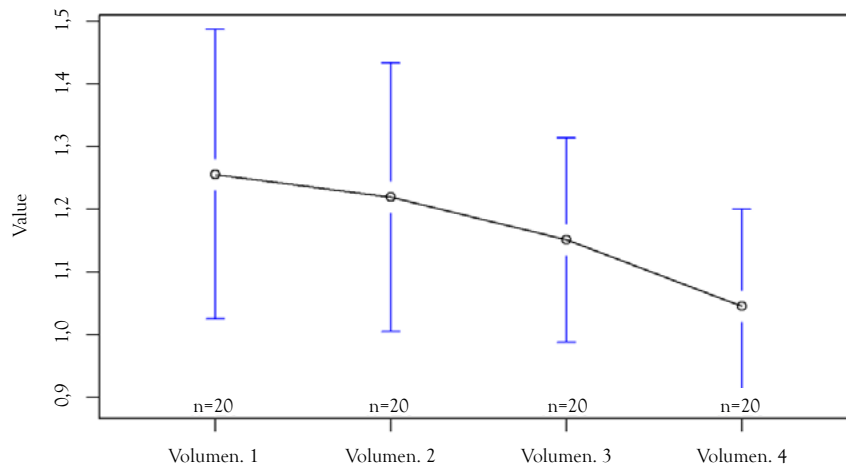


Figura 3. Variabilidad de medias de volúmenes.

Fuente: elaboración propia.

Al promediar las mediciones de volumen del muñón durante el tiempo de seguimiento, se encontró que al final del estudio solamente tres participantes habían tenido un aumento en el volumen de su muñón.

Los resultados de la prueba de Shapiro Wilk (0,21 a 0,83) demostraron que los valores del volumen del muñón presentaron una distribución normal para todas y cada una de las medidas; lo mismo ocurrió con la diferencia de volumen 2-1 y 3-2 (0,39-0,85).

Discusión

La medición del volumen del muñón en distintos momentos tras la amputación transtibial ha evidenciado fluctuaciones tanto diurnas como a corto y largo plazo, variaciones que son influenciadas por múltiples factores fisiológicos y funcionales. El principal propósito del presente estudio fue caracterizar esos cambios volumétricos y su posible relación con variables sociodemográficas. Aunque la literatura específica sobre este fenómeno sigue siendo limitada, en estudios previos^{17,18} se han documentado variaciones de volumen entre 2,4% y 35%, valores que se acercan

parcialmente a los hallazgos del presente estudio, en donde se encontraron variaciones entre 0,7% y 28%.

Para la medición del volumen del muñón se utilizó el sistema CAD/CAM con escáner óptico, técnica reconocida por su alta repetibilidad y precisión¹⁵, lo cual refuerza la confiabilidad de los resultados. Se identificaron correlaciones positivas entre el volumen inicial del muñón y las mediciones posteriores al uso de la prótesis, aunque estas disminuyeron con el tiempo. Este comportamiento coincide con investigaciones como la de Sanders *et al.*¹³, quienes han reportado mayores fluctuaciones en las etapas iniciales del uso protésico.

Respecto a las características de la muestra, se observó un predominio total de participantes masculinos y de amputaciones de origen traumático, lo cual concuerda con lo reportado en estudios poblacionales de amputación en contextos de conflicto realizados en el Colombia^{4,9}. Sin embargo, la baja heterogeneidad de la cohorte limita la generalización de los resultados. Otro hallazgo relevante fue la asociación entre la morfología del muñón y los cambios volumétricos: los muñones bulbosos mostraron reducciones más consistentes,

sin aumentos, lo que ha sido reportado también en la literatura sobre adaptación del socket¹¹.

En cuanto al IMC y el nivel de actividad física, no se observaron asociaciones estadísticamente significativas. No obstante, la literatura apoya el papel del ejercicio en la regulación del peso corporal y la salud general¹⁹. En línea con lo anterior, en el presente estudio se encontró que quienes realizaban actividad física regular y contaban con actividad ocupacional mostraron mayores reducciones de volumen, lo que sugiere una posible relación funcional²⁰. De igual manera, los participantes que usaban la prótesis por más de 4,1 horas al día también reportaron una reducción más significativa del volumen, lo cual concuerda con lo reportado en estudios que han documentado adaptaciones tisulares en función del uso prolongado del dispositivo^{13,21}.

Llama la atención que los participantes que no realizaban actividad física previa al uso de la prótesis también presentaran reducciones importantes en el volumen. Esto abre interrogantes sobre otros factores potencialmente influyentes como el uso de vendajes o liners, que también se han relacionado con variaciones volumétricas^{13,20}.

Ni la longitud ni la circunferencia del muñón mostraron un patrón uniforme durante las mediciones. La literatura indica que variables como la carga mecánica durante la marcha pueden alterar la distribución de fluidos y, por tanto, el volumen del muñón¹⁴. Si bien la variabilidad en el momento del escaneo podría haber introducido sesgos —por ejemplo, por la actividad física realizada antes de la medición—, este sesgo fue minimizado al contar con un único operador entrenado para todas las mediciones²².

En conjunto, los resultados obtenidos en el presente estudio permiten concluir que la variabilidad del volumen del muñón es un fenómeno biológico natural y multifactorial^{23,24}. Aunque las correlaciones estadísticas fueron significativas, no pueden asumirse como relaciones causales directas. En este sentido, se recomienda ampliar el tamaño muestral y realizar estudios longitudinales más robustos para esclarecer la influencia real de factores clínicos y sociodemográficos en los cambios de

volumen del muñón en pacientes con amputación transtibial²⁵.

El presente estudio pone de manifiesto una realidad bien documentada: en Colombia un considerable número de amputaciones transtibiales se producen a raíz de traumatismos causados por artefactos explosivos improvisados²⁵. Esto subraya la imperiosa necesidad de abordar la reducción de la violencia originada en los conflictos armados y de confrontar las secuelas que estos actores generan.

La principal fortaleza del presente estudio la constituye el seguimiento más prolongado de la muestra (hasta 311 días) en comparación con otros reportes que no superan los 160 días^{18,26}.

Conclusiones

En el presente estudio se encontró una asociación significativa entre el tiempo de uso de la prótesis y el nivel de actividad (niveles K). En cuanto a los cambios del muñón (volumen, longitud y circunferencias), estos no presentan valores uniformes ni siguen un patrón predecible. La morfología bulbosa del muñón mostró únicamente reducciones de volumen, aunque la falta de homogeneidad de la muestra sugiere la necesidad de estudios adicionales para evaluar su significancia estadística²⁷.

No se encontraron asociaciones significativas entre las características sociodemográficas y los cambios de volumen, posiblemente debido a la heterogeneidad de la muestra o a valores atípicos²⁷. Sin embargo, la relación entre actividad física y reducción del volumen del muñón requiere una mayor investigación, considerando su impacto positivo en la composición corporal y su potencial influencia en la distribución del tejido adiposo²⁸.

En conclusión, no se identificó ningún factor sociodemográfico con efecto significativo en los cambios de volumen del muñón. Tampoco se pueden anticipar ni establecer valores específicos de variabilidad en dichos cambios. Además, aunque los cambios son más notorios poco después de la amputación, no es posible determinar momentos específicos para realizar mediciones, ya que las variaciones de volumen son inevitables y constantes²⁹.

Contribución de los autores

Conceptualización: Miguel Ángel Gutiérrez Ramírez fue responsable de la idea inicial de investigación que dio origen al estudio, mientras que Jaclin Patricia Gaviria Moreno desarrolló y estructuró conceptualmente dicha idea, formulando los aspectos teóricos y clínicos centrales, así como los cambios necesarios para su evolución metodológica y científica.

Curación (o curado) de contenidos y datos: Jaclin Patricia Gaviria Moreno fue responsable de la búsqueda, la selección y la organización rigurosa de la información científica relevante para el desarrollo del estudio. Este proceso incluyó la identificación de fuentes confiables en la literatura académica, así como la verificación de su validez y pertinencia. Adicionalmente, esta autora llevó a cabo la curación de datos, lo cual comprendió la anotación y auditoría de bases de datos, la depuración de información redundante, la corrección de inconsistencias a partir de fuentes primarias y la implementación de procedimientos computacionales para asegurar la calidad y reutilización de los datos recopilados durante la investigación.

Análisis formal de los datos: Jaclin Patricia Gaviria Moreno se encargó de la aplicación de técnicas estadísticas para el procesamiento y análisis de los datos obtenidos durante el estudio. Su labor incluyó la selección de métodos adecuados para evaluar los cambios en el volumen del muñón, el tratamiento riguroso de las variables registradas y la interpretación cuantitativa de los resultados, asegurando la validez y solidez del análisis realizado.

Investigación: Jaclin Patricia Gaviria Moreno fue responsable de la ejecución directa del trabajo investigativo, incluyendo la implementación de los procedimientos y la recolección sistemática de los datos clínicos necesarios para el estudio. Su labor aseguró la obtención rigurosa y ética de la evidencia empírica sobre la que se fundamenta el análisis del estudio.

Metodología: Jaclin Patricia Gaviria Moreno fue responsable del diseño y desarrollo de la metodología del estudio. Su contribución incluyó la elaboración del enfoque experimental, la definición de los

criterios de medición y la estructuración de los modelos estadísticos empleados para el análisis de los datos, garantizando la validez científica del diseño del estudio.

Administración del proyecto: Jaclin Patricia Gaviria Moreno asumió la gerencia y coordinación general del estudio. Fue responsable de la planificación, la organización y el seguimiento de las actividades investigativas, garantizando el cumplimiento de los objetivos, los cronogramas y los lineamientos éticos establecidos.

Recursos materiales: los materiales de medición, el acceso a los pacientes, la instrumentación clínica y los recursos de cómputo necesarios para la ejecución del estudio fueron provistos por el Hospital Militar Central. Jaclin Patricia Gaviria Moreno estuvo a cargo de la supervisión directa del uso y gestión de dichos recursos, asegurando su adecuada implementación durante el proceso investigativo.

Supervisión: Miguel Ángel Gutiérrez Ramírez estuvo a cargo de la supervisión general del estudio. Su labor incluyó la orientación estratégica, el acompañamiento metodológico, así como la tutoría.

Validación: Jaclin Patricia Gaviria Moreno fue responsable de la verificación de la consistencia y reproducibilidad de los datos obtenidos en el estudio. Esta labor incluyó el control de calidad de los procedimientos aplicados, la revisión de los resultados intermedios y finales y la confirmación de la coherencia metodológica que respalda la validez de los hallazgos.

Visualización: Jaclin Patricia Gaviria Moreno fue responsable de la preparación, la creación y la presentación visual de los datos del estudio. Esto incluyó la elaboración de tablas, gráficos y esquemas explicativos que facilitaron la interpretación de los resultados y su adecuada comunicación en el manuscrito final.

Redacción - borrador original: Jaclin Patricia Gaviria Moreno fue responsable de la elaboración del borrador inicial del manuscrito del estudio. Esta tarea incluyó la redacción integral del texto científico y su correspondiente traducción, asegurando la claridad y la coherencia del contenido para su postulación a publicación.

Redacción - revisión y edición: Jaclin Patricia Gaviria Moreno fue responsable de la edición técnica y científica del manuscrito, incorporando los ajustes de estilo, precisión conceptual y formato requeridos para su presentación final. Miguel ángel Gutiérrez participó en la revisión crítica del contenido.

Consideraciones éticas

El estudio siguió los principios éticos para la investigación biomédica en seres humanos establecidos en la Declaración de Helsinki³⁰ y las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud de la Resolución 8430 de 1993 del Ministerio de Salud de Colombia.³¹ Además, fue aprobado por el Comité de Ética en Investigación del Hospital militar Central y se

contó con la firma del consentimiento informado de cada uno de los participantes.

Conflicto de intereses

Ninguno declarado por los autores.

Financiación

Ninguna declarada por los autores.

Agradecimientos

Ninguno declarado por los autores.

Referencias

1. Organización Mundial de la Salud (OMS). Discapacidad. Ginebra: OMS; 2023 [citado junio 30 de 2025]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/disability-and-health>.
2. Dillingham TR, Pezzin LE, MacKenzie EJ. Limb amputation and limb deficiency: epidemiology and recent trends in the United States. *South Med J*. 2002;95(8):875-83. Disponible en: <https://doi.org/10.1097/00007611-200208000-00018>.
3. Colombia. Ministerio de Salud y Protección Social (Minsalud). Guía de práctica clínica para el diagnóstico y tratamiento preoperatorio, intraoperatorio y postoperatorio de la persona amputada, la prescripción de la prótesis y la rehabilitación integral. Guía No. 55. Bogotá D.C.: Minsalud; 2015.
4. Colombia. Dirección para la Acción Integral contra Minas Antipersonal. Datos abiertos. Registro de información de afectación por MAP y MUSE e intervención. Fecha de corte: 31 de enero de 2024. Bogotá D.C.: Acción Contra Minas; 2024 [citado junio 19 de 2025]. Disponible en: <https://www.accioncontraminas.gov.co/Estadisticas>.
5. Esquenazi A, DiGiacomo R. Rehabilitation after amputation. *J Am Podiatr Med Assoc*. 2001;91(1):13-22. Disponible en: <https://doi.org/10.7547/87507315-91-1-13>.
6. Gallagher P, MacLachlan M. Development and psychometric evaluation of the Trinity Amputation and Prosthesis Experience Scales (TAPES). *Rehabilitation Psychology*. 2000;45(2):130-154. Disponible en: <https://doi.org/10.1037/0090-5550.45.2.130>.
7. Fortington LV, Geertzen JH, van Netten JJ, Postema K, Rommers GM, Dijkstra PU. Short and long term mortality rates after a lower limb amputation. *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2013;46(1):124-31. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2013.03.024>.
8. Burger H, Marincek C. Return to work after lower limb amputation. *Disabil Rehabil*. 2007;29(17):1323-9. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/09638280701320797>.
9. Colombia. Dirección para la Acción Integral contra Minas Antipersonal. Situación víctimas minas antipersonal en Colombia. Bogotá D.C.: Acción Contra Minas; 2023.
10. Gailey R, Allen K, Castles J, Kucharik J, Roeder M. Review of secondary physical conditions associated with lower-limb amputation and long-term prosthesis use. *J Rehabil Res Dev*. 2008;45(1):15-29. Disponible en: <https://doi.org/10.1682/jrrd.2006.11.0147>.
11. Larsen BG, McLean JB, Allyn KJ, Brzostowski JT, Garbini JL, Sanders JE. How do transtibial residual limbs adjust to intermittent incremental socket volume changes? *Prosthet Orthot Int*. 2019;43(5):528-39. Disponible en: <https://doi.org/10.1177/0309364619864771>.
12. Chui KK, Jorge M, Yen SC, Lusardi MM. *Orthotics and prosthetics in rehabilitation*. 4th ed. St. Louis: Elsevier; 2020.
13. Sanders JE, Youngblood RT, Hafner BJ, Ciol MA, Allyn KJ, Gardner D, *et al*. Residual limb fluid volume change and volume accommodation: relationships to activity and self-report outcomes in people with trans-tibial amputation. *Prosthet Orthot Int*. 2018;42(4):415-27. Disponible en: <https://doi.org/10.1177/0309364617752983>.
14. Sanders JE, Fatone S. Residual limb volume change: systematic review of measurement and management. *J Rehabil Res Dev*. 2011;48(8):949-86. Disponible en: <https://doi.org/10.1682/jrrd.2010.09.0189>.

15. Kofman R, Beekman AM, Emmelot CH, Geertzen JHB, Dijkstra PU. Measurement properties and usability of non-contact scanners for measuring transtibial residual limb volume. *Prosthet Orthot Int.* 2018;42(3):280-7. Disponible en: <https://doi.org/10.1177/0309364617736088>.
16. Resnik L, Borgia M. Reliability of outcome measures for people with lower-limb amputations: distinguishing true change from statistical error. *Phys Ther.* 2011;91(4):555-65. Disponible en: <https://doi.org/10.2522/ptj.20100287>.
17. Tantua AT, Geertzen JH, van den Dungen JJ, Breek JK, Dijkstra PU. Reduction of residual limb volume in people with transtibial amputation. *J Rehabil Res Dev.* 2014;51(7):1119-26. Disponible en: <https://doi.org/10.1682/JRRD.2013.11.0243>.
18. Zachariah SG, Saxena R, Fergason JR, Sanders JE. Shape and volume change in the transtibial residuum over the short term: preliminary investigation of six subjects. *J Rehabil Res Dev.* 2004;41(5):683-94. Disponible en: <https://doi.org/10.1682/jrrd.2003.10.0153>.
19. Murphy D. Fundamentals of amputation care and prosthetics. New York: Demos Medical; 2013.
20. Kelly BM, Spires MC, Restrepo JA. Orthotic and prosthetic prescriptions for today and tomorrow. *Phys Med Rehabil Clin N Am.* 2007;18(4):785-858. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.pmr.2007.08.001>.
21. McLean JB, Redd CB, Larsen BG, Garbini JL, Brzostowski JT, Hafner BJ, *et al.* Socket size adjustments in people with transtibial amputation: effects on residual limb fluid volume and limb-socket distance. *Clin Biomech (Bristol).* 2019;63:161-71. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2019.02.022>.
22. Lindner HYN, Nätterlund BS, Hermansson LMN. Upper Limb Prosthetic Outcome Measures: Review and Content Comparison Based on International Classification of Functioning, Disability and Health. *Prosthet Orthot Int.* 2010;34(2):109-128. Disponible en: <https://doi.org/10.3109/03093641003776976>.
23. Board WJ, Street GM, Caspers C. A comparison of trans-tibial amputee suction and vacuum socket conditions. *Prosthet Orthot Int.* 2001;25(3):202-209.
24. Laferrier JZ, Gailey R. Advances in lower-limb prosthetic technology. *Phys Med Rehabil Clin N Am.* 2010;21(1):87-110. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.pmr.2009.08.003>.
25. Ziegler-Graham K, MacKenzie EJ, Ephraim PL, Travison TG, Brookmeyer R. Estimating the prevalence of limb loss in the United States: 2005 to 2050. *Arch Phys Med Rehabil.* 2008;89(3):422-429. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2007.11.005>.
26. Parvizi J, Kim GK. Amputation of the lower limb. In: Parvizi J, editor. *High yield orthopaedics*. Philadelphia: Elsevier; 2010. p. 17-19.
27. Pirouzi G, Abu Osman NA, Eshraghi A, Ali S, Gholizadeh H, Wan Abas WA. Review of the socket design and interface pressure measurement for transtibial prosthesis. *ScientificWorld Journal.* 2014;2014:849073. Disponible en: <https://doi.org/10.1155/2014/849073>.
28. Cutson TM, Bongiorno DR. Rehabilitation of the older lower limb amputee: a brief review. *J Am Geriatr Soc.* 1996;44(11):1388-1393. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.1996.tb01415.x>.
29. Kristinsson O. The ICEROSS concept: a discussion of a philosophy. *Prosthet Orthot Int.* 1993;17(1):49-55. Disponible en: <https://doi.org/10.3109/03093649309164354>.

30. World Medical Association (WMA). WMA Declaration of Helsinki – Ethical principles for medical research involving human participants. Helsinki: 75th WMA General Assembly; 2024 [citado junio 22 de 2025]. Disponible en: <https://bit.ly/40k4BRS>.
31. Colombia. Ministerio de Salud. Resolución 8430 de 1993 (octubre 4): Por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud [Internet]. Bogotá D.C.; octubre 4 de 1993 [citado junio 22 de 2025]. Disponible en: <https://bit.ly/3Q3R0t8>.