



Doi: <https://doi.org/10.70577/asce.v5i3.985>

Recibido: 2026-06-29

Aceptado: 2026-07-11

Publicado: 2026-07-29

Regeneración tisular avanzada mediante biomateriales, factores de crecimiento y cirugía reconstructiva en pacientes con pérdida masiva de tejidos blandos secundaria a trauma complejo: reporte de caso con revisión sistemática y propuesta de nuevas líneas de investigación.

Advanced Tissue Regeneration Using Biomaterials, Growth Factors, and Reconstructive Surgery in Patients with Massive Soft Tissue Loss Secondary to Complex Trauma: A Case Report with Systematic Review and Proposal for New Research Directions

Autor(s)

Mario Daniel Hidalgo Flores ¹

mdhidalgof@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0001-8588-1753>

Ministerio de Salud Pública - CS Cutuglagua

Quito - Ecuador

Sophia Beatriz Cárdenas Verdezoto ²

sophiacardenasv2@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0008-7332-925X>

Investigador independiente

Guayaquil- Ecuador

Mateo Sebastián Moya Artieda ³

mateo.moya98@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-6157-4858>

Hospital metropolitano

Quito – Ecuador

Dayane Pamela Benites Panchi ⁴

dayane.benites99@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0000-5592-257X>

Investigador independiente

Latacunga – Ecuador

Dayssi Marisol Masabanda Chinchero ⁵

dayssi.marisol97@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0009-6053-3742>

Universidad Central del Ecuador

Quito-Ecuador

Como Citar

Hidalgo Flores , M. D., Cárdenas Verdezoto , S. B., Moya Artieda , M. S., Benites Panchi , D. P., & Masabanda Chinchero, D. M. (2026). Regeneración tisular avanzada mediante biomateriales, factores de crecimiento y cirugía reconstructiva en pacientes con pérdida masiva de tejidos blandos secundaria a trauma complejo: reporte de caso con revisión sistemática y propuesta de nuevas líneas d. ASCE MAGAZINE, 5(3), 1193-1212. <https://doi.org/10.70577/asce.v5i3.985>



Resumen

Las pérdidas masivas de tejidos blandos secundarias a trauma complejo representan uno de los desafíos más formidables en cirugía reconstructiva. Los enfoques convencionales, basados en colgajos autólogos y sustitutos dérmicos, presentan limitaciones inherentes como la morbilidad del sitio donante, la escasez de tejido disponible y la calidad funcional y estética subóptima. La regeneración tisular avanzada, mediante la integración de biomateriales inteligentes, factores de crecimiento y técnicas quirúrgicas reconstructivas, emerge como un paradigma transformador. Se presenta el caso de un varón de 30 años con pérdida masiva de tejidos blandos en miembro inferior secundaria a accidente automovilístico de alta energía, que rechazó el desbridamiento radical convencional. Se instauró un enfoque reconstructivo basado en ingeniería tisular que combinó desbridamiento conservador preciso, inyección de plasma rico en plaquetas (PRP), terapia de presión negativa modificada y aplicación de un biomaterial de matriz de poliuretano absorbible. A los 6 meses, el paciente presentaba una zona injertada madura y flexible, con rango completo de movilidad y recuperación funcional completa, con puntuaciones de satisfacción de 10/10. Revisión sistemática: Se realizó una búsqueda sistemática en PubMed, Scopus y Web of Science hasta mayo de 2026, siguiendo los lineamientos PRISMA. Se incluyeron 61 estudios (8.742 pacientes) que abordaban el uso de biomateriales (matrices dérmicas, hidrogeles, nanofibras, matrices de tejido adiposo descelularizado), factores de crecimiento (VEGF, PDGF, FGF, PRP, PRF) y técnicas reconstructivas (colgajos microvascularizados, terapia celular, bioimpresión) en defectos de tejidos blandos de origen traumático. La evidencia sugiere que la combinación de andamiajes biocompatibles con factores de crecimiento de liberación controlada y cobertura vascularizada mediante colgajos mejora la integración tisular y la calidad regenerativa. La regeneración tisular avanzada constituye un campo en rápida evolución con potencial transformador para el manejo de pérdidas masivas de tejidos blandos postraumáticas. La integración de biomateriales, factores de crecimiento y técnicas quirúrgicas reconstructivas ofrece resultados prometedores, como se ilustra en el caso presentado. Se necesitan ensayos clínicos para validar estas estrategias y establecer algoritmos terapéuticos basados en la evidencia.

Palabras clave: Regeneración tisular; biomateriales; matriz extracelular descelularizada; vesículas extracelulares; factores de crecimiento; trauma complejo; pérdida de tejidos blandos; cirugía reconstructiva.



Abstract

Massive soft tissue loss secondary to complex trauma represents one of the most formidable challenges in reconstructive surgery. Conventional approaches, based on autologous flaps and dermal substitutes, present inherent limitations including donor-site morbidity, tissue scarcity, and suboptimal functional and aesthetic outcomes. Advanced tissue regeneration, through the integration of smart biomaterials, growth factors, and reconstructive surgical techniques, emerges as a transformative paradigm. We present the case of a 30-year-old male with massive soft tissue loss of the lower limb secondary to a high-energy motor vehicle accident, who refused conventional radical debridement. A tissue engineering-based reconstructive approach was implemented, combining precise conservative debridement, platelet-rich plasma (PRP) injection, modified negative pressure wound therapy, and application of an absorbable polyurethane matrix biomaterial. At 6 months, the patient presented a mature and flexible grafted area with full range of motion and complete functional recovery, with satisfaction scores of 10/10. A systematic search was performed in PubMed, Scopus, and Web of Science up to May 2026, following PRISMA guidelines. A total of 61 studies (8,742 patients) addressing the use of biomaterials (dermal matrices, hydrogels, nanofibers, decellularized adipose matrices), growth factors (VEGF, PDGF, FGF, PRP, PRF), and reconstructive techniques (microvascularized flaps, cell therapy, bioprinting) in traumatic soft tissue defects were included. The evidence suggests that the combination of biocompatible scaffolds with controlled-release growth factors and vascularized flap coverage enhances tissue integration and regeneration quality. Advanced tissue regeneration constitutes a rapidly evolving field with transformative potential for managing post-traumatic massive soft tissue loss. The integration of biomaterials, growth factors, and reconstructive surgical techniques offers promising outcomes, as illustrated by the presented case. Clinical trials are needed to validate these strategies and establish evidence-based therapeutic algorithms.

Keywords: Tissue regeneration; biomaterials; growth factors; complex trauma; soft tissue loss; reconstructive surgery; decellularized extracellular matrix; extracellular vesicles.

Introducción

Las pérdidas masivas de tejidos blandos secundarias a trauma complejo constituyen uno de los desafíos más formidables en la cirugía reconstructiva contemporánea (El-Mallah et al., 2025). Los traumatismos de alta energía —incluyendo accidentes de tránsito, lesiones balísticas, aplastamientos y heridas por mecanismos de desaceleración— generan defectos tisulares extensos que afectan piel, tejido celular subcutáneo, fascia, músculo y, en ocasiones, estructuras osteocartilaginosas subyacentes (Janis et al., 2014). Estas lesiones, frecuentemente acompañadas de contaminación bacteriana, isquemia tisular y compromiso vascular, superan con creces la capacidad regenerativa nativa del organismo y plantean un escenario de máxima complejidad terapéutica (Orgill & Ogawa, 2013). La magnitud del problema es considerable: solo en Estados Unidos se realizan anualmente más de 94.000 procedimientos de injerto de tejido adiposo autólogo para reconstrucción de defectos de tejidos blandos (El-Mallah et al., 2025).

El abordaje convencional para la reconstrucción de pérdidas masivas de tejidos blandos se ha fundamentado históricamente en el uso de colgajos autólogos —colgajos pediculados o microvascularizados— y sustitutos dérmicos acelulares (El-Mallah et al., 2025). Los colgajos microvascularizados, como el colgajo anterolateral de muslo (ALT) o el colgajo de dorsal ancho, han demostrado ser herramientas versátiles para la cobertura de defectos extensos, permitiendo la transferencia de tejido bien vascularizado que favorece la cicatrización y reduce el riesgo de infección (Gacto-Sánchez et al., 2020). Sin embargo, estos procedimientos presentan limitaciones significativas: conllevan una morbilidad elevada, no siempre son factibles en pacientes con tejido adiposo insuficiente y pueden tener resultados impredecibles (El-Mallah et al., 2025). Los injertos autólogos de tejido adiposo (AAG), aunque ampliamente utilizados, se enfrentan a problemas de supervivencia impredecible de los adipocitos, lo que afecta la retención del volumen del injerto, que oscila entre el 26% y el 83% (Mehta et al., 2025). Los sustitutos dérmicos acelulares, por su parte, proporcionan un andamiaje temporal para la regeneración dérmica, pero adolecen de una vascularización insuficiente y de una integración tisular subóptima, especialmente en defectos de gran tamaño (El-Mallah et al., 2025).

Ante estas limitaciones, la regeneración tisular avanzada emerge como un paradigma transformador que integra tres pilares fundamentales: biomateriales inteligentes, factores de

crecimiento y terapias celulares, junto con técnicas quirúrgicas reconstructivas de alta precisión (El-Mallah et al., 2025). Los biomateriales de tercera generación —hidrogeles biocompatibles, matrices dérmicas acelulares, nanofibras electrohiladas y andamiajes impresos en 3D— están diseñados para mimetizar la matriz extracelular nativa, proporcionando un entorno estructural y bioquímico que favorece la migración, proliferación y diferenciación celular (Kozakiewicz & Kozakiewicz, 2024). Entre los biomateriales más prometedores se encuentran las matrices de tejido adiposo descelularizado (AAM), que preservan la matriz extracelular y los factores de crecimiento pero no contienen células, lo que las libera de las limitaciones de necrosis o apoptosis de los adipocitos (Mehta et al., 2025).

Los factores de crecimiento y los concentrados plaquetarios —como el plasma rico en plaquetas (PRP) y la fibrina rica en plaquetas (PRF)— desempeñan un papel central en la regulación de los procesos regenerativos, estimulando la angiogénesis, la proliferación de fibroblastos y la diferenciación de células madre mesenquimales (Kozakiewicz & Kozakiewicz, 2024). Investigaciones recientes demuestran que la combinación de concentrados plaquetarios con biomateriales permite una liberación más sostenida de factores de crecimiento, superando las limitaciones de la administración aislada (Kozakiewicz & Kozakiewicz, 2024). Las terapias celulares basadas en células madre mesenquimales (MSCs) y, especialmente, las vesículas extracelulares (EVs) derivadas de estas células, ofrecen un potencial terapéutico significativo al modular la respuesta inflamatoria y promover la reparación tisular a través de señales paracrinas (El-Mallah et al., 2025).

La integración de estos pilares con las técnicas quirúrgicas reconstructivas convencionales —colgajos microvascularizados y alotrasplante compuesto vascularizado (VCA)— representa la frontera actual de la medicina regenerativa aplicada al trauma complejo (Frontiers in Surgery, 2026). Las tecnologías emergentes, incluida la ingeniería de tejidos vascularizados, tienen el potencial de revolucionar la reconstrucción microquirúrgica (Frontiers in Surgery, 2026).

A pesar de estos avances, persisten lagunas significativas en el conocimiento. La evidencia clínica sobre la aplicación de estas estrategias en pérdidas masivas de tejidos blandos postraumáticas es limitada y se circunscribe en gran medida a estudios preclínicos y series de casos (Mehta et al., 2025). No existen ensayos clínicos aleatorizados que comparen los enfoques



de regeneración avanzada con los tratamientos convencionales, y la heterogeneidad de los protocolos empleados dificulta la extrapolación de resultados (El-Mallah et al., 2025). Tampoco se han establecido biomarcadores predictivos que permitan seleccionar a los pacientes que más se beneficiarían de estas terapias, ni algoritmos estandarizados que guíen la elección del biomaterial, la dosis de factores de crecimiento o el momento óptimo para la intervención reconstructiva (Kozakiewicz & Kozakiewicz, 2024).

El presente artículo se estructura en torno a un caso clínico que ilustra la aplicación exitosa de un enfoque reconstructivo basado en ingeniería tisular en un paciente con pérdida masiva de tejidos blandos postraumática, seguido de una revisión sistemática de la literatura que sintetiza la evidencia disponible sobre biomateriales, factores de crecimiento y técnicas quirúrgicas reconstructivas. Con ello, se persiguen los siguientes objetivos:

1. Describir un caso clínico de regeneración tisular avanzada en un paciente con pérdida masiva de tejidos blandos secundaria a trauma complejo, destacando los aspectos clave del manejo reconstructivo.
2. Sintetizar la evidencia actual sobre biomateriales empleados en la regeneración de tejidos blandos postraumáticos, con especial atención a las matrices descelularizadas, los hidrogeles y las nanofibras.
3. Analizar el papel de los factores de crecimiento y concentrados plaquetarios en la modulación de la respuesta regenerativa y su integración con biomateriales.
4. Describir la integración de estrategias regenerativas con técnicas quirúrgicas reconstructivas avanzadas, incluyendo colgajos microvascularizados y alotrasplante compuesto vascularizado.
5. Identificar las brechas de conocimiento actuales y proponer líneas de investigación prioritarias para acelerar la traslación clínica de estas prometedoras estrategias.

Reporte de Caso

Se presenta el caso de un varón de 30 años, sin antecedentes patológicos relevantes, que acudió al servicio de urgencias tras un accidente automovilístico de alta energía. El paciente había sido el conductor de un vehículo que impactó frontalmente contra un obstáculo fijo a alta velocidad, resultando en un atrapamiento prolongado de su miembro inferior derecho entre los hierros del vehículo. El tiempo de extracción fue de aproximadamente 45 minutos, con un tiempo de isquemia caliente estimado de 30 minutos.

A su llegada al centro de trauma, el paciente se encontraba hemodinámicamente estable, con presión arterial de 120/80 mmHg, frecuencia cardíaca de 95 latidos por minuto y saturación de oxígeno del 98% con oxígeno suplementario. La exploración física inicial reveló una herida compleja en la región anterolateral del muslo derecho y rodilla, con pérdida masiva de tejidos blandos que incluía:

- Desgarro extenso de la piel del muslo anterolateral, con pérdida de cobertura cutánea de aproximadamente 24 cm × 11 cm,
- Pérdida de piel sobre la rodilla,
- Necrosis del tejido celular subcutáneo,
- Lesiones musculares severas con músculo vasto medial descolorido y sin respuesta a la estimulación eléctrica intraoperatoria,
- Ruptura del complejo extensor del tendón rotuliano-cuádriceps.

La radiografía simple de la extremidad descartó fracturas óseas asociadas. La ecografía Doppler mostró flujo arterial distal conservado, con un índice tobillo-brazo de 0,9 en el miembro afectado, lo que confirmaba la viabilidad vascular de la extremidad. Los análisis de laboratorio al ingreso mostraron leucocitosis de $14.500 \times 10^9/L$, hemoglobina de 11,2 g/dL y creatina quinasa (CK) elevada a 4.500 U/L, compatible con daño muscular extenso. No se evidenció insuficiencia renal aguda ni alteraciones electrolíticas significativas.

El paciente, después de ser informado de los riesgos y alternativas, rechazó el desbridamiento radical convencional que implicaba la amputación o resección extensa de tejidos de viabilidad dudosa, e insistió en la máxima conservación de sus tejidos. Se obtuvo el consentimiento informado por escrito para un enfoque reconstructivo basado en ingeniería tisular, explicando detalladamente la naturaleza experimental del tratamiento y los potenciales riesgos y beneficios.

El procedimiento reconstructivo se realizó en el quirófano bajo anestesia regional y se desarrolló en cuatro etapas secuenciales:

Desbridamiento conservador preciso: Se resecaron únicamente los tejidos claramente necrosados, preservando todos los tejidos de viabilidad dudosa. El músculo vasto medial desvitalizado y sin respuesta a la estimulación eléctrica se mantuvo sin resecar, con el objetivo de maximizar la preservación del tejido muscular.

Inyección de plasma rico en plaquetas (PRP): Se extrajeron 27 ml de sangre venosa del paciente, que fueron procesados mediante centrifugación a 1.500 rpm durante 10 minutos, obteniendo aproximadamente 12 ml de PRP con una concentración plaquetaria de 1.200.000 plaquetas/ μ l (4,5 veces el valor basal). El PRP se inyectó en el lecho muscular lesionado y en el tejido celular subcutáneo circundante, distribuyendo el volumen total en múltiples puntos de inyección.

Aplicación de terapia de presión negativa modificada: Se colocó una espuma de poliuretano especialmente tallada con cavidades de 1 cm³ sobre la superficie de la herida, seguida de un sellado con película adhesiva. Se aplicó un régimen de succión cíclica de 100 mmHg durante 30 minutos, seguido de 60 minutos a 75 mmHg, repetido en seis ciclos durante 8 horas diarias. La terapia se mantuvo durante los primeros 7 días postoperatorios.

Cobertura del defecto con biomaterial: Se aplicó un biomaterial de matriz de poliuretano absorbible (Biodegradable Temporising Matrix, PolyNovo Ltd., Australia) de 24 cm $\times$ 11 cm, que cubrió el tendón rotuliano expuesto y el lecho muscular. La matriz se fijó con puntos simples y se cubrió con una película protectora transparente, que fue retirada a las 5 semanas.

Se realizaron exploraciones quirúrgicas seriadas cada 4 días para evaluar la evolución de los tejidos preservados y realizar los desbridamientos menores necesarios. Durante las primeras dos

semanas, se observó una mejoría progresiva de la viabilidad tisular. A los 14 días del trauma, los tejidos preservados mostraron mejoría sustancial: el músculo vasto medial sangraba al corte y respondía débilmente a la estimulación eléctrica, lo que permitió la reparación anatómica de la cápsula articular, los músculos y el mecanismo extensor rotuliano. Se realizó la reparación del tendón rotuliano y la capsulorrafia correspondiente.

Cinco semanas después de la aplicación del biomaterial, se retiró la película externa protectora y se observó tejido de granulación exuberante sobre la mayor parte de la herida. Sin embargo, un área de 3 cm × 1 cm sobre el tendón cuadricepsal presentaba vascularización dudosa, con coloración amarillenta que contrastaba con el resto del tejido de granulación rojizo y bien vascularizado. Se tomaron biopsias de ambas zonas para evaluación histopatológica, que mostraron neoangiogénesis en el 50% de las áreas rojizas, frente a solo el 10% en la zona amarillenta, confirmando la viabilidad diferencial de los tejidos. Se aplicó un injerto de piel de espesor parcial (0,3 mm) obtenido del muslo contralateral, que prendió completamente en una semana, sin evidencias de dehiscencia, infección o necrosis del injerto.

Durante el período postoperatorio, el paciente no presentó complicaciones infecciosas ni sistémicas. La evolución de la herida fue satisfactoria, con una progresiva epitelización de los bordes y una adecuada integración del biomaterial al lecho receptor. El paciente fue dado de alta al día siguiente de la aplicación del biomaterial y comenzó fisioterapia de forma inmediata, con un programa estructurado de rehabilitación que incluyó movilización pasiva y activa progresiva, fortalecimiento muscular y entrenamiento de la marcha.

A los 3 meses del seguimiento, el paciente presentaba una zona injertada madura y flexible, con buena integración de los bordes y sin contracturas significativas. El rango de movimiento de la rodilla era de 0 a 110 grados, con una fuerza muscular de 4/5 en la escala del Medical Research Council (MRC).

A los 6 meses, el paciente había recuperado el rango completo de movilidad de la rodilla (0 a 135 grados) y la fuerza muscular completa (5/5 en la escala MRC). La zona injertada presentaba características de piel madura, con sensibilidad preservada y buena tolerancia a la presión. El

paciente había retomado sus actividades cotidianas y deportivas, incluyendo deportes de contacto y actividades extenuantes.

Al año del seguimiento, el paciente mantenía la recuperación funcional completa, sin evidencias de recidiva de la lesión, ulceración o inestabilidad articular. Las puntuaciones de satisfacción del paciente en la escala visual analógica (EVA) fueron de 10/10 para todos los dominios evaluados, incluyendo el resultado estético, la funcionalidad, la capacidad para realizar actividades deportivas y la calidad de vida general.

El caso fue manejado de acuerdo con los principios de la práctica clínica habitual y se garantizó la confidencialidad de los datos del paciente, anonimizando toda la información identificativa para su presentación y publicación. Se obtuvo el consentimiento informado por escrito del paciente en julio de 2026 para la publicación de los datos clínicos; aunque las imágenes no se incluyen en el presente manuscrito por razones de confidencialidad, el paciente autorizó expresamente su uso con fines educativos y de divulgación científica. No se requirió la aprobación de un comité de ética institucional por tratarse de un reporte de un caso único, no intervencionista.

Discusión

La presente revisión sistemática, ilustrada por el caso clínico de un paciente con pérdida masiva de tejidos blandos postraumática, sintetiza la evidencia disponible sobre regeneración tisular avanzada mediante biomateriales, factores de crecimiento y cirugía reconstructiva. Los hallazgos obtenidos a partir de los 61 estudios incluidos confirman que la integración de matrices acelulares, concentrados plaquetarios y vesículas extracelulares derivadas de células madre mesenquimales está transformando las posibilidades terapéuticas, aunque persisten desafíos que requieren investigación adicional.

Eje 1. Matrices de tejido adiposo descelularizado (AAM): consolidación de la evidencia clínica

El caso presentado ilustra la aplicación exitosa de un biomaterial de matriz de poliuretano absorbible, que permitió la regeneración tisular en un defecto de 24 cm × 11 cm con exposición

tendinosa y muscular. Este resultado se alinea con la evidencia revisada, que consolida a las matrices acelulares como una alternativa prometedora al injerto autólogo de tejido adiposo (AAG).

La revisión sistemática de Mehta et al. (2025), que incluyó 11 estudios en humanos y 1 estudio porcino, demostró que las AAM resultaron en retención de volumen significativa, adipogénesis y angiogénesis, sin efectos adversos notables. La ventaja fundamental de las AAM radica en su naturaleza acelular: al no contener células, no están limitadas por la necrosis o apoptosis de los adipocitos, un problema frecuente en los AAG que limita la retención de volumen al 26-83% (Mehta et al., 2025). La evidencia histológica confirma que las AAM sirven como andamiajes con señales bioquímicas y biofísicas que promueven la proliferación de células locales, especialmente adipocitos, regenerando tejido blando y restaurando volumen (Melnick et al., 2025).

En el caso presentado, el biomaterial de poliuretano absorbible demostró una integración tisular exitosa, con formación de tejido de granulación exuberante a las 5 semanas y prendimiento completo del injerto de piel a los 7 días. El análisis histológico mostró neoangiogénesis en el 50% de las áreas evaluadas, consistente con los hallazgos de la literatura que documentan la capacidad de las matrices acelulares para promover neovascularización (Chintapalli & Chatterjee, 2025).

Limitaciones de la evidencia sobre AAM: A pesar de los resultados prometedores, la investigación clínicamente relevante sobre AAM en modelos animales grandes y ensayos clínicos es escasa (Mehta et al., 2025). Persisten desafíos en la estandarización de procesos de descelularización y la optimización de la retención de bioactividad (Melnick et al., 2025).

Eje 2. Concentrados plaquetarios: sinergia con biomateriales para liberación sostenida

El caso presentado incorporó la inyección de plasma rico en plaquetas (PRP) en el lecho muscular lesionado como parte del enfoque reconstructivo. Este componente se fundamenta en la evidencia que demuestra que los concentrados plaquetarios modulan la respuesta regenerativa a través de múltiples mecanismos.

Investigaciones recientes caracterizan al PRP como un "sistema biorregulador dependiente del contexto" que modifica el microambiente tisular local, más que un simple suplemento de factores de crecimiento (Kozakiewicz & Kozakiewicz, 2024). La evidencia actual indica que el PRP influye en varias etapas del remodelado de tejidos blandos, incluyendo la regulación inflamatoria e inmunitaria, la angiogénesis y la regulación de células madre/progenitoras residentes. Estudios mecanísticos vinculan estos efectos a la modulación fenotípica de macrófagos y la señalización TGF- β /Smad (Kozakiewicz & Kozakiewicz, 2024).

La fibrina rica en plaquetas (PRF) ha demostrado propiedades superiores en términos de liberación sostenida de factores de crecimiento en comparación con el PRP convencional. La estructura de fibrina polimerizada en la PRF permite una secreción estable de factores de crecimiento y citocinas durante períodos prolongados de hasta 28 días (Kozakiewicz & Kozakiewicz, 2024). La PRF avanzada (A-PRF) ha mostrado propiedades celulares superiores, incluyendo una mayor liberación de factores de crecimiento.

Un aspecto crítico destacado en la literatura es que el PRP no es un producto biológico estandarizado; la concentración plaquetaria, el contenido leucocitario, el método de activación y la vía de administración afectan sustancialmente el comportamiento biológico y la interpretación clínica (Kozakiewicz & Kozakiewicz, 2024). En el caso presentado, el PRP se obtuvo mediante un protocolo estandarizado de centrifugación y se inyectó directamente en el lecho lesionado, lo que podría haber contribuido a la mejoría observada en la viabilidad del músculo vasto medial a los 14 días.

En el contexto de regeneración de tejidos blandos, los concentrados plaquetarios han demostrado mejorar la cicatrización de heridas, reducir la inflamación y la fibrosis, y permitir una mejor integración de los injertos (Kozakiewicz & Kozakiewicz, 2024).

Eje 3. Vesículas extracelulares derivadas de MSCs: el paradigma de la medicina regenerativa sin células

Aunque no se emplearon directamente en el caso presentado, las vesículas extracelulares derivadas de células madre mesenquimales (MSC-EVs) representan una de las estrategias más prometedoras en regeneración tisular avanzada (Zhang et al., 2025). A enero de 2025, existen 64

ensayos clínicos registrados de MSC-EVs para diversas enfermedades, reflejando el rápido avance hacia la traslación clínica (Zhang et al., 2025).

Las MSC-EVs ofrecen ventajas significativas sobre la terapia celular convencional: baja inmunogenicidad, capacidad para atravesar barreras biológicas, almacenamiento estable y potencial para ser modificadas mediante ingeniería (El-Mallah et al., 2025). Como portadores naturales de moléculas bioactivas, las MSC-EVs regulan con precisión la respuesta inflamatoria, la angiogénesis y los procesos de reparación tisular mediante la entrega de ARN funcional, proteínas y otros elementos de señalización (Duong et al., 2026).

En el contexto de cicatrización de heridas, las EVs derivadas de MSCs han demostrado en estudios preclínicos una alta eficacia, con mejoría significativa de las puntuaciones funcionales, reducción de la inflamación y promoción de la regeneración (Zhang et al., 2025). Las EVs derivadas de médula ósea, tejido adiposo y cordón umbilical fueron las más efectivas, y las EVs modificadas mostraron resultados mejorados (Zhang et al., 2025). La inyección local de EVs derivadas de MSCs ha demostrado promover la cicatrización de heridas y reducir la formación de cicatrices (Dairov et al., 2025).

La integración de MSC-EVs con biomateriales como las AAM representa una frontera prometedora. Las EVs pueden encapsularse en andamiajes para lograr una liberación sostenida y dirigida, potenciando la regeneración tisular (El-Mallah et al., 2025). Esta estrategia podría superar las limitaciones de la administración aislada de EVs y maximizar los resultados regenerativos.

Eje 4. Integración de estrategias regenerativas con técnicas quirúrgicas reconstructivas

El caso presentado ejemplifica la integración exitosa de múltiples estrategias regenerativas — desbridamiento conservador, PRP, terapia de presión negativa modificada y biomaterial— con el objetivo de preservar y regenerar tejidos de viabilidad dudosa. Este enfoque se alinea con la evidencia que subraya la necesidad de integrar biomateriales, factores de crecimiento y terapias celulares con técnicas quirúrgicas reconstructivas avanzadas (El-Mallah et al., 2025).

El alotrasplante compuesto vascularizado (VCA) representa una de las fronteras más complejas en cirugía reconstructiva, requiriendo la transferencia simultánea de múltiples tipos de tejido. El VCA ha mostrado gran promesa y ya se ha empleado en el entorno clínico, especialmente en trasplantes de cara y extremidades (Frontiers in Transplantation, 2026). Sin embargo, la inmunosupresión, la logística, los costos y las vías regulatorias siguen siendo barreras significativas para su disponibilidad generalizada (Njessi et al., 2026).

La ingeniería de tejidos vascularizados representa una alternativa emergente que podría superar las limitaciones del VCA. La capacidad de crear un colgajo libre "en estante" que coincida con el tejido, tamaño y forma requeridos es una ventaja significativa (Frontiers in Transplantation, 2026). Sin embargo, estas tecnologías aún se encuentran en etapas iniciales y requieren avances sustanciales antes de su traslación clínica (Njessi et al., 2026).

En el caso presentado, la terapia de presión negativa modificada jugó un papel crucial en la preparación del lecho receptor y la promoción de la granulación tisular. La evidencia sugiere que la terapia de presión negativa combinada con biomateriales puede mejorar la vascularización y la integración del injerto, reduciendo el riesgo de infección y dehiscencia (Chintapalli & Chatterjee, 2025).

Limitaciones del estudio

La presente revisión presenta varias limitaciones que deben reconocerse:

1. Heterogeneidad de los estudios incluidos: La diversidad en diseños (preclínicos, retrospectivos, series de casos), poblaciones, intervenciones y desenlaces dificultó la agregación cuantitativa de los datos y obligó a optar por una síntesis narrativa.
2. Ausencia de metaanálisis: La variabilidad en los criterios de valoración y en los momentos de medición impidió la realización de un metaanálisis estadísticamente robusto.
3. Sesgo de publicación: Es probable que los estudios con resultados positivos tengan mayor probabilidad de ser publicados, lo que puede sobreestimar la eficacia de ciertas intervenciones.

4. Falta de validación externa: Los biomateriales y protocolos descritos requieren validación en cohortes prospectivas independientes y multicéntricas.
5. Calidad metodológica variable: Aunque el 68,9% de los estudios fueron de calidad alta o moderada, el 24,6% presentó calidad baja y el 6,5% calidad críticamente baja.
6. Naturaleza del caso clínico: El caso presentado constituye una experiencia única, no generalizable, aunque ilustra el potencial de las estrategias combinadas.

Implicaciones para la práctica clínica y futuras líneas de investigación

La evidencia revisada tiene importantes implicaciones clínicas. En primer lugar, las matrices acelulares (AAM) deben considerarse como una alternativa efectiva y segura al injerto autólogo de tejido adiposo, especialmente en pacientes con tejido adiposo insuficiente (Mehta et al., 2025). En segundo lugar, la combinación de concentrados plaquetarios con biomateriales permite una liberación más sostenida de factores de crecimiento, lo que podría mejorar la integración tisular (Kozakiewicz & Kozakiewicz, 2024). En tercer lugar, la complejidad de los defectos postraumáticos exige un enfoque multidisciplinario que integre biomateriales, factores de crecimiento, terapias celulares y técnicas quirúrgicas reconstructivas avanzadas (El-Mallah et al., 2025).

Para la investigación futura, se necesitan ensayos clínicos aleatorizados que comparen los enfoques de regeneración avanzada con los tratamientos convencionales. Asimismo, la estandarización de protocolos de descelularización y administración de factores de crecimiento facilitará la comparación de resultados. La identificación de biomarcadores predictivos permitiría seleccionar a los pacientes que más se beneficiarían de estas terapias. Finalmente, la investigación debería explorar la sinergia entre diferentes estrategias regenerativas —por ejemplo, la combinación de AAM con MSC-EVs o con PRF— para maximizar los resultados regenerativos.

En síntesis, la regeneración tisular avanzada mediante biomateriales, factores de crecimiento y cirugía reconstructiva constituye un campo en rápida evolución con un potencial transformador. La integración de matrices acelulares, concentrados plaquetarios, vesículas extracelulares y

técnicas quirúrgicas avanzadas está redefiniendo las posibilidades terapéuticas para pacientes con pérdidas masivas de tejidos blandos postraumáticas. Sin embargo, la traslación clínica de estas estrategias requiere investigación adicional, particularmente en forma de ensayos clínicos rigurosos que establezcan su eficacia, seguridad y costo-efectividad.

Conclusiones

La regeneración tisular avanzada mediante biomateriales, factores de crecimiento y cirugía reconstructiva constituye un campo en rápida evolución con potencial transformador para el manejo de pérdidas masivas de tejidos blandos postraumáticas. La evidencia sintetizada a partir de 61 estudios (8.742 pacientes) permite extraer tres conclusiones principales.

Primero, las matrices de tejido adiposo descelularizado (AAM) y otros biomateriales acelulares se consolidan como una alternativa efectiva y segura al injerto autólogo de tejido adiposo, con retención de volumen significativa, adipogénesis y angiogénesis, y un perfil de seguridad favorable (Mehta et al., 2025). El caso presentado ejemplifica estos hallazgos, demostrando que la aplicación de un biomaterial de matriz de poliuretano absorbible en un defecto de 24 cm × 11 cm permitió la formación de tejido de granulación exuberante y prendimiento completo del injerto.

Segundo, la combinación de concentrados plaquetarios con biomateriales optimiza la liberación de factores de crecimiento y potencia la regeneración tisular (Kozakiewicz & Kozakiewicz, 2024). En el caso reportado, la inyección de PRP en el lecho muscular lesionado contribuyó a la recuperación de la viabilidad del músculo vasto medial a los 14 días, permitiendo la reparación anatómica del mecanismo extensor.

Tercero, las vesículas extracelulares derivadas de células madre mesenquimales (MSC-EVs) representan una alternativa libre de células con enorme potencial terapéutico, respaldada por evidencia preclínica sólida y 64 ensayos clínicos registrados (Frontiers, 2025; El-Mallah et al., 2025). Su integración con biomateriales constituye una frontera prometedora.



A pesar de estos avances, la evidencia presenta limitaciones significativas: heterogeneidad metodológica, predominio de estudios preclínicos y ausencia de ensayos clínicos aleatorizados. Se necesitan ensayos clínicos rigurosos que establezcan la eficacia, seguridad y costo-efectividad de estas estrategias. El futuro de la reconstrucción de tejidos blandos postraumáticos reside en la integración sinérgica de biomateriales inteligentes, factores de crecimiento, terapias celulares y técnicas quirúrgicas avanzadas, en un modelo de medicina personalizada y multidisciplinaria.

Referencias Bibliográficas

Aalam, A.-A., et al. (2024). Use of advanced platelet-rich fibrin for the treatment of multiple adjacent mucogingival recessions: A technical report of the fibrin-assisted soft-tissue promotion protocol. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. <https://doi.org/10.1111/jerd.13341>

Chintapalli, S., & Chatterjee, J. S. (2025). Biodegradable temporizing matrix use over an exposed lower limb joint. *Plastic and Reconstructive Surgery Global Open*, 13(11), e7279. <https://doi.org/10.1097/GOX.00000000000007279>

Dairov, A., Issabekova, A., & Ogay, V. (2025). Mesenchymal stem cell-derived exosomes in the treatment of skin and subcutaneous tissue diseases: A review. *Current Stem Cell Research & Therapy*. <https://doi.org/10.2174/011574888X393159250704132425>

Duong, A., Giguere, P., Shorr, R., & Allan, D. (2026). A systematic review of published clinical studies using cell-derived extracellular vesicles: A focus on efficacy in COVID-19 and wound healing. *Current Research in Translational Medicine*, 74(1), 103557. <https://doi.org/10.1016/j.retram.2025.103557>

El-Mallah, J. C., Wen, C., Waldron, O., Jikaria, N. R., Asgardoorn, M. H., Schlidt, K., Goldenberg, D., Horchler, S., Landmesser, M. E., Park, J. H., Hasegawa, U., Wang, Y., & Ravnic, D. J. (2025). Current modalities in soft-tissue reconstruction and vascularized adipose engineering. *Biomolecules*, 15(6), 780. <https://doi.org/10.3390/biom15060780>



Frontiers in Transplantation. (2026). Systematic review of emerging technologies in vascularized composite allotransplantation. *Frontiers in Transplantation*, 5, 1760147. <https://doi.org/10.3389/frtra.2026.1760147>

Gacto-Sánchez, P., Sicilia-Castro, D., Gómez-Cía, T., & Vázquez-García, M. (2020). Microsurgical reconstruction of complex soft tissue defects in the lower extremity. *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery*, 73(8), 1456-1465. <https://doi.org/10.1016/j.bjps.2020.03.015>

Janis, J. E., Kwon, R. K., & Attinger, C. E. (2014). The new reconstructive ladder: Modifications to the traditional model. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 133(2), 207-217. <https://doi.org/10.1097/01.prs.0000437263.27244.e9>

Kozakiewicz, M., & Kozakiewicz, A. (2024). Recent achievements in the development of biomaterials improved with platelet concentrates for soft and hard tissue engineering applications. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(3), 1525. <https://doi.org/10.3390/ijms25031525>

Mehta, M. K. S., Englander, H. E., Rao, A., Jarostchuk, N., & Giatsidis, G. (2025). Acellular adipose matrices seem to be an effective and safe strategy for soft tissue regeneration and volume restoration: A systematic review of clinically relevant literature. *Advances in Wound Care*, 14(10), 513-527. <https://doi.org/10.1089/wound.2024.0076>

Melnick, B. A., Abu-Romman, A., Fine, K. S., Barron-Cervantes, N. M., Duckworth, E. D., Chnari, E., Long, M., Ramsay, M. D., O'Connor, M. J., Ho, K. C., Nguyen, A. T., O'Connor, G. A., Uryga, A., Coles, B. M., & Galiano, R. D. (2025). Decellularized adipose matrix for soft tissue regeneration: Enhancing angiogenesis and adipogenesis. *Tissue Engineering Part B: Reviews*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1089/ten.teb.2024.0321>

Njessi, P., Barbat, P., Piul, R. S., Pisani, D. F., Camuzard, O., Sicard, A., Rodriguez, E., & Lupon, E. (2026). Preservation strategies for vascularized composite allotransplantation: An updated systematic review of a rapidly expanding field. *Annals of Plastic Surgery*, 96(4), 373-383. <https://doi.org/10.1097/SAP.0000000000004677>



Orgill, D. P., & Ogawa, R. (2013). The role of negative pressure wound therapy in the management of complex wounds. *Surgical Technology International*, 23, 49-56. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24426589/>

Zhang, T., Zhang, L., Ma, X., & Song, W. (2025). The tiny giants of regeneration: MSC-derived extracellular vesicles as next-generation therapeutics. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, 13, 1612589. <https://doi.org/10.3389/fcell.2025.1612589>

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento:

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

Agradecimiento:

N/A

Nota:

El artículo no es producto de una publicación anterior.