



Deina Patricia Inuca de la Cruz

E-mail: deinuca5453@outlook.es

Orcid: <https://orcid.org/my-orcid?orcid=0009-0005-9261-0010>

Franklin Hernan Guanuchi-Quito

E-mail: fh.guanuchi@uta.edu.ec

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2653-6500>

Universidad Técnica de Ambato. Ambato, Ecuador.

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Inuca de la Cruz, D. P., & Guanuchi-Quito, F. H. (2024). Xenoinjerto de piel de tilapia como una alternativa terapéutica para el tratamiento de quemaduras. *Revista Sociedad & Tecnología*, 7(S1), 117-131. DOI: <https://doi.org/10.51247/st.v7iS1.500>.

==== o ====

Xenoinjerto de piel de tilapia como una alternativa terapéutica para el tratamiento de quemaduras

RESUMEN

Las quemaduras son una de las lesiones más frecuentes a nivel mundial, afectando a millones de personas cada año, con una alta incidencia en países en desarrollo como Ecuador, donde la disponibilidad de tratamientos convencionales es limitada. En este contexto, la piel de tilapia ha emergido como una alternativa terapéutica prometedora para el tratamiento de quemaduras, gracias a sus propiedades antiinflamatorias, antibacterianas y su alta concentración de colágeno tipo I y II, que aceleran la cicatrización y reducen el dolor. Este artículo de revisión analiza la eficacia y seguridad del uso de la piel de tilapia como xenoinjerto temporal en quemaduras de segundo grado, comparándola con tratamientos estándar como la sulfadiazina de plata. A través de una revisión sistemática de estudios recientes, se concluye que la piel de tilapia no solo mejora la reepitelización y reduce la frecuencia de cambios de apósitos, sino que también es una opción costo-efectiva, especialmente en contextos de bajos recursos. Sin embargo, se destaca la necesidad de realizar más ensayos clínicos y de estandarizar los métodos de investigación para validar su eficacia en otros tipos de heridas y establecer guías clínicas precisas. Con la validación y estandarización adecuadas, la piel de tilapia tiene el potencial de convertirse en un tratamiento de referencia en la medicina regenerativa, ofreciendo una solución accesible y eficaz en el manejo de quemaduras, particularmente en áreas con recursos limitados.

Palabras clave: quemaduras, piel de tilapia, xenoinjerto de piel de tilapia, colágeno.

Tilapia skin xenograft as a therapeutic alternative for the treatment of burns

ABSTRACT

Burns are among the most common injuries worldwide, affecting millions of people each year, with a high incidence in developing countries like Ecuador, where access to conventional treatments is limited. In this context, tilapia skin has emerged as a promising therapeutic alternative for burn treatment, owing to its anti-inflammatory and antibacterial properties, as well as its high concentration of type I and II collagen, which accelerates healing and reduces pain. This review article examines the efficacy and safety of using tilapia skin as a temporary xenograft for second-degree burns, comparing it to standard treatments such as silver sulfadiazine. Through a systematic review of recent studies, it is concluded that tilapia skin not only enhances re-epithelialization and reduces the frequency of dressing changes, but also presents a cost-effective option, especially in low-resource settings. However, the need for further clinical trials and the standardization of research methods is emphasized to validate its effectiveness in other types of wounds and to establish precise clinical guidelines. With proper validation and standardization, tilapia skin has the potential to become a reference treatment in regenerative medicine, offering an accessible and effective solution for burn management, particularly in resource-limited areas.

Keywords: burns, tilapia skin, tilapia skin xenograft, collagen.

==== o ====

Xenoinjerto de pele de tilapia como alternativa terapêutica para tratamento de queimaduras

RESUMO

As queimaduras são uma das lesões mais frequentes em todo o mundo, afetando milhões de pessoas todos os anos, com alta incidência em países em desenvolvimento como o Equador, onde a disponibilidade de tratamentos convencionais é limitada. Neste contexto, a pele de tilapia surge como uma alternativa terapêutica promissora para o tratamento de queimaduras, graças às suas propriedades anti-inflamatórias e antibacterianas e à sua alta concentração de colágeno tipo I e II, que aceleram a cicatrização e reduzem a dor. Este artigo de revisão analisa a eficácia e segurança do uso de pele de tilapia como xenoinjerto temporário em queimaduras de segundo grau, comparando-a com tratamentos padrão como a sulfadiazina de prata. Através de uma revisão sistemática de estudos recentes, conclui-se que a pele de tilapia não só melhora a reepitelização e reduz a frequência de trocas de curativos, mas também é uma opção custo-efetiva, especialmente em contextos de poucos recursos. No entanto, destaca-se a necessidade de realizar mais ensaios clínicos e padronizar métodos de pesquisa para validar sua eficácia em outros tipos de feridas e estabelecer diretrizes clínicas precisas. Com validação e padronização adequadas, a pele de tilapia tem potencial para se tornar um tratamento padrão-ouro na medicina regenerativa, oferecendo uma solução acessível e eficaz no tratamento de queimaduras, especialmente em áreas com recursos limitados.

Palavras-chave: queimaduras, pele de tilapia, xenoinjerto de pele de tilapia, colágeno.

INTRODUCCIÓN

Las quemaduras son la cuarta lesión más común a nivel mundial, de acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que cada año cerca de 11 millones de personas sufren quemaduras, resultando en la muerte de aproximadamente 180,000 de ellas. (Radzikowska-Büchner et al., 2023) La situación se torna aún más complicada al considerar la alta incidencia de quemaduras eléctricas en Ecuador, debido al incumplimiento de las normas de seguridad laboral, lo cual resalta la necesidad de intervenciones urgentes. Sumado a esto, la ausencia de un banco de tejidos y unidades de terapia intensiva especializadas en quemaduras, eleva la mortalidad en comparación con países desarrollados. (Estadísticas INDOT – Instituto Nacional de Donación y Trasplante de Órganos, Tejidos y Células n.d.)

Una quemadura es una lesión en la piel causada por factores externos como fricción, calor, frío, radiación, sustancias químicas o electricidad; esto provoca la alteración de la barrera cutánea comprometiendo sus funciones protectoras, e incrementa el riesgo de deshidratación, infecciones y problemas metabólicos. Las quemaduras se clasifican según la profundidad y extensión del daño, afectando desde la epidermis, dermis o incluso tejidos más profundos. Es esencial clasificar las quemaduras según su gravedad, considerando la profundidad y el tamaño de la lesión. El tratamiento varía según la gravedad de la quemadura; desde vendajes y antibióticos para quemaduras leves hasta injertos de piel para las más profundas, mientras que las quemaduras graves pueden requerir traslado a centros especializados (Markiewicz-Gospodarek et al., 2022).

Los xenoinjertos consisten en trasplante de tejidos, o células de una especie a un individuo, se utilizan en medicina para reemplazar tejidos lesionados. Un ejemplo notable de esto es el uso de la piel de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) como xenoinjerto, que ha demostrado ser una alternativa prometedora en el tratamiento de quemaduras. La piel de tilapia no solo posee propiedades antiinflamatorias y antibacterianas, sino que también favorece y acelera la cicatrización de diversas heridas. (Harun et al. 2023) Tradicionalmente, el tratamiento de quemaduras implicaba el uso de injertos de piel autólogos, es decir, de la propia piel del paciente. Sin embargo, este método conlleva riesgos como la creación de nuevas heridas y el rechazo del injerto. En este contexto, la piel de tilapia surge como una opción más segura y eficaz. Estudios recientes han mostrado que el injerto de piel de tilapia es rico en colágeno tipo 1 y 2, lo cual promueve una curación más rápida, reducen el riesgo de infecciones y son más rentables que los métodos convencionales (Ibrahim et al., 2023) (González 2023).

El colágeno presente en la piel de tilapia desempeña un papel crucial en la cicatrización, especialmente durante la fase de remodelación, donde se maximiza la resistencia del tejido cicatricial. Además, la piel de pescado contiene ácidos grasos omega-3, que ayudan a controlar la inflamación y a promover la regeneración celular, haciendo que el injerto no solo sea eficaz en quemaduras, sino también en el tratamiento de otras heridas crónicas como las úlceras diabéticas. (Ghosh et al., 2023)

La piel de tilapia muestra el potencial de ser un producto innovador, fácil de aplicar y ampliamente disponible. (Cabral et al., 2021) Además, la piel de pescado, al requerir un procesamiento mínimo en su fabricación, conserva su estructura tridimensional y las

Xenoinjerto de piel de tilapia como una alternativa terapéutica para el tratamiento de quemaduras.

propiedades beneficiosas antiinflamatorias y antiinfecciosas; siendo una fuente rica en ácidos grasos poliinsaturados Omega-3, como el ácido eicosapentaenoico y el ácido docosahexaenoico, que son altamente efectivos como agentes antimicrobianos y modulan la respuesta inflamatoria durante la curación de heridas agudas. Su almacenamiento a temperatura ambiente y una vida útil de 3 años la convierten en un producto listo para usar que se comercializa. Dadas estas propiedades, la piel de pescado se presenta como una opción ideal para el tratamiento de lesiones en casas de salud, especialmente cuando la piel de cadáver o de cerdo no se encuentra disponible, además de sus limitantes por su corta vida útil y desafíos con la cadena de frío (Ge et al., 2020).

MATERIALES Y MÉTODOS

La muestra del estudio incluyó todos los documentos científicos relacionados con el uso de xenoinjertos de piel de tilapia como una alternativa terapéutica en el tratamiento de quemaduras, con el enfoque de uso para reducción de dolor y cicatrización. Para realizar la búsqueda, se formuló la siguiente pregunta estructurada PICO de la siguiente manera: ¿Cuál es la eficacia y seguridad del xenoinjerto de piel de tilapia como apósito temporal para quemaduras de segundo grado en términos de cicatrización y reducción del dolor? Esta interrogante se estructuró en base a cuatro pilares fundamentales.

Pregunta (PICO): ¿Cuál es la eficacia y seguridad de los xenoinjertos de piel de tilapia como apósito temporal para quemaduras de segundo grado en términos de cicatrización y reducción del dolor?

Para orientar la revisión sistemática, planteamos la siguiente pregunta PICO:

P: Pacientes con quemaduras de segundo grado de espesor parcial y total.

I: Uso de xenoinjerto de piel de tilapia como apósitos biológicos temporales.

C: Comparación con otros apósitos convencionales o tratamientos estándar para quemaduras, como la sulfadiazina de plata.

O: Evaluación de la eficacia en términos de manejo del dolor y tiempo de recuperación.

Selección y búsqueda de artículos:

Se realizó un estudio y revisión sistémica de artículos científicos, guías, protocolos de práctica clínica y otros documentos de repositorios de investigación que se encuentran publicados en diferentes bases de datos de relevancia como: ELSEVIER, Scielo, Revistas Médicas, PubMed; se incluyó únicamente artículos de alto impacto publicados en los últimos 5 años sobre uso de xenoinjertos de piel de pescado como apósito temporal para quemaduras de segundo grado. Como estrategia de búsqueda se seleccionaron bases de datos médicas como PubMed, MEDLINE y Google Scholar. Se utilizarán términos de búsqueda relacionados con "xenoinjertos de piel de pescado", "quemaduras de segundo grado de espesor parcial" y "alternativas terapéuticas".

Crterios de seleccin

Xenoinjerto de piel de tilapia como una alternativa terapéutica para el tratamiento de quemaduras.

Dentro de los criterios de inclusión y exclusión se incluyeron estudios que evalúen específicamente el uso de xenoinjertos de piel de pescado en quemaduras de segundo grado de espesor parcial y que proporcionen comparaciones con otras opciones terapéuticas. Se excluyeron artículos que no se centraron en quemaduras de segundo grado, que estudien otro tipo de injertos, que estén en idiomas distintos al seleccionado (español e inglés), o que no estén disponibles en texto completo. Para la selección y análisis de estudios se revisó títulos y resúmenes para identificar estudios relevantes según los criterios de inclusión. Se analizaron minuciosamente los estudios seleccionados, extrayendo datos sobre efectividad, seguridad y resultados de los xenoinjertos de piel de pescado en el tratamiento de quemaduras de segundo grado.

Extracción y gestión de datos

En la evaluación de calidad y síntesis de evidencia se evaluó la calidad metodológica de los estudios utilizando herramientas de evaluación de riesgo de sesgo. Se sintetizó la evidencia, identificando tendencias y consistencias en los resultados de los estudios revisados.

Para la presentación de resultados se elaboró un informe detallado que resume los hallazgos, conclusiones y recomendaciones basadas en la evidencia encontrada en la revisión bibliográfica.

RESULTADOS

La piel, el órgano más grande y externo del cuerpo humano, está formada por la epidermis y la dermis, actúa como una barrera crucial para proteger contra agresiones externas como radiación ultravioleta, productos químicos y microorganismos, al tiempo que mantiene la homeostasis al prevenir la pérdida de agua, electrolitos y proteínas. Sin embargo, su constante exposición a posibles daños la convierte en el órgano más vulnerable, y cualquier lesión puede desencadenar un proceso complejo de cicatrización, que se divide en cuatro fases: hemostasia, inflamación, proliferación y maduración (Przekora 2020)(Żwieretło et al., 2023). La cicatrización de heridas profundas o complicadas puede verse afectada por factores locales, como infecciones, o sistémicos, como diabetes, obesidad, alcoholismo y desnutrición, lo que a menudo da lugar a heridas crónicas y difíciles de curar, afectando significativamente la calidad de vida de los pacientes por razones estéticas y psicológicas. (Mazurek et al., 2022)

Las quemaduras han sido un desafío médico significativo desde la antigüedad y su tratamiento ha evolucionado desde formulaciones simples hasta enfoques más sofisticados que incluyen la escisión temprana o vendajes compresivos. A pesar de estos progresos, la fisiopatología de las quemaduras sigue siendo un área de investigación activa, con el objetivo de mejorar los tratamientos y las tasas de supervivencia. Las quemaduras, que pueden resultar de factores térmicos, eléctricos, químicos o radiación, varían en gravedad según la profundidad de la lesión, la superficie corporal afectada y la exposición a la fuente de calor. Además, las quemaduras profundas suelen requerir intervenciones quirúrgicas y presentan un riesgo elevado de complicaciones, subrayando la importancia de un tratamiento adecuado y oportuno para mejorar los resultados clínicos y reducir el impacto en la calidad de vida del paciente (Karim et al., 2020).

Fisiopatología de las quemaduras

Las quemaduras provocan necrosis coagulativa en la piel y los tejidos subyacentes, con la gravedad del daño, dependiendo de la temperatura, energía transmitida y duración de la exposición. El sitio de la quemadura se divide en tres zonas: coagulación, que representa el daño irreversible; estasis, con daño moderado que puede recuperarse o progresar a necrosis; e hiperemia, caracterizada por inflamación con un riesgo mínimo de necrosis, salvo en casos de sepsis grave o hipoperfusión prolongada. Cuando más del 30% de la superficie corporal está afectada, las quemaduras inducen hipovolemia y liberación de mediadores inflamatorios, lo que lleva a un shock por quemaduras.

Este estado, a menudo irreversible, afecta la circulación, causa edema y compromete varios sistemas corporales, incluyendo el cardiovascular, renal y digestivo, lo que aumenta significativamente la mortalidad si no se maneja adecuadamente. El cuerpo responde al daño térmico con un estado de hipermetabolismo, incrementando la demanda energética y afectando la cicatrización, el sistema inmunológico y la función de órganos vitales. Esta respuesta incluye una serie de reacciones metabólicas, hormonales e inflamatorias, con un aumento en la producción de hormonas del estrés y cambios en la función endocrina, lo que exacerba la condición del paciente.

Además, las quemaduras pueden afectar la función reproductiva masculina, causando daño a las células germinales y disminución de la testosterona, a menudo reversible con antioxidantes. A nivel inmunológico, las quemaduras comprometen la respuesta inmune, facilitando infecciones bacterianas, virales y fúngicas, lo que resalta la importancia de una intervención temprana y adecuada en el manejo de estas lesiones (Żwieretło et al., 2023).

Cuadro 1: Tipos de quemaduras y sus características:

TIPO DE QUEMADURA	CARACTERÍSTICAS	IMAGEN
Quemaduras Superficiales (1er Grado) Grados de profundidad epidermis	- Enrojecimiento de la piel (eritema), afecta sola la epidermis, la epidermis afectada se desprende al cabo de 5 a 10 días. - Dolor de corta duración de 48 a 72 horas. - No requieren tratamiento quirúrgico. - Cicatrización sin complicaciones, no queda cicatriz visible. - Frecuente en quemaduras solares.	
Quemaduras Parciales Superficiales (2do Grado A) Afecta parte superficial de la dermis y capa	-Epidermis y las capas superficiales de la dermis están degradadas. - Piel es dolorosa. - Presencia de ampollas debido a la delaminación de la epidermis de la membrana basal. - Liberación de líquidos (exudado). - Requieren apósitos y cuidado de	

Xenoinjerto de piel de tilapia como una alternativa terapéutica para el tratamiento de quemaduras.

TIPO DE QUEMADURA	CARACTERÍSTICAS	IMAGEN
profunda de la dermis	heridas. - Pueden dejar cicatrices, la herida cicatriza en 14 a 21 días.	
Quemaduras Parciales Profundas (2do Grado B) Afecta a epidermis y dermis	- La epidermis y las capas de la dermis se degradan a diferentes profundidades. La quemadura no incluye partes de los islotes de la epidermis de los folículos pilosos ni de las glándulas sudoríparas - Menos dolorosas debido a la destrucción parcial de los receptores de dolor. - Piel más enrojecida, húmeda y dolorosa. - Requieren escisión quirúrgica y trasplante de piel. - Tienen tendencia a cicatrizar, la curación tarda entre 21 a 35 días.	
Quemaduras de Espesor Completo (3er Grado)	- El espesor está degradado totalmente. - Se extienden a través de toda la dermis, la piel es seca y dura. El color de la piel es marrón, bronce o rojo. - No suelen ser dolorosas debido al daño a las terminaciones nerviosas. - Requieren protección contra infecciones. - Necesitan tratamiento quirúrgico, trasplante o tratamiento reconstructivo.	
Quemaduras de Cuarto Grado	- Es una quemadura mixta, que combina características de las quemaduras de segundo y tercer grado. - Quemaduras penetran desde la epidermis hasta la capa de tejido subcutáneo, involucran afectación de tejidos más profundos, como músculos o huesos, lo que lleva a necrosis local. - Tratamiento conservador y quirúrgico.	

FUENTE: Markiewicz-Gospodarek A, Kozioł M, Tobiasz M, Baj J, Radzikowska-Büchner E, Przekora A. Burn Wound Healing: Clinical Complications, Medical Care, Treatment, and Dressing Types: The Current State of Knowledge for Clinical Practice. Int J Environ Res Public Health. 2022 Jan 25;19(3):1338. doi: 10.3390/ijerph19031338. PMID: 35162360; PMCID: PMC8834952.

Xenoinjerto de piel de tilapia

La tilapia, particularmente la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*), fue introducida en Ecuador a finales de la década de 1990, mucho después que, en otros países, y aunque puede adaptarse a diversos climas, prefiere climas cálidos y húmedos. Sin embargo, también es posible criar tilapia en la sierra ecuatoriana. A pesar de su potencial, el uso terapéutico de la piel de tilapia no ha sido tan explotado como en otros lugares. (Zimba et al., 2024). Desde el punto de vista estructural es rica en colágeno I, una proteína clave en la cicatrización de heridas, debido a que el colágeno contribuye a la regeneración celular se presenta como una alternativa prometedora para su uso como vendaje oclusivo en pacientes con quemaduras con el fin de favorecer la proliferación celular y formación de nuevo tejido (Aldonza et al., 2023).

La piel de tilapia tiene una estructura laminar compuesta por varias capas que incluyen la epidermis, dermis y tejido conectivo. La dermis es particularmente rica en fibras de colágeno y elastina, lo que le confiere resistencia y flexibilidad, características esenciales para su uso como vendaje oclusivo en quemaduras. Además, la piel de tilapia presenta una baja antigenicidad, lo que reduce el riesgo de rechazo cuando se utiliza en aplicaciones médicas. El xenoinjerto, no solo ofrece una adhesión prolongada a la herida, reduciendo la necesidad de recambios diarios, sino que también disminuye el riesgo de infecciones, lo que acelera la recuperación del paciente y reduce los costos hospitalarios.

Además, las escamas de tilapia, con un alto contenido proteico que varía entre el 41% y el 84% según el tipo de pez y su crianza, se consideran una materia prima valiosa para la producción de colágeno tipo I. Este colágeno tiene ventajas comerciales significativas, ya que está libre de enfermedades vinculadas a especies bovinas, lo que ha aumentado su demanda en el mercado. Ecuador ha comenzado a importar colágeno derivado de escamas de tilapia, reconociendo su gran potencial en la industria como una materia prima de alto valor (González 2023).

Procedimiento de extracción de la tilapia

La piel de tilapia, se somete a un riguroso proceso de limpieza y purificación antes de ser utilizada como vendaje oclusivo para quemaduras. Este proceso comienza con la cría de tilapia en estanques de red, alimentada con un balance nutricional específico hasta alcanzar un peso de entre 800 y 1000 gramos. Los peces son sacrificados mediante choque térmico, y su piel es retirada, lavada y sumergida en solución salina estéril al 0.9% a una temperatura de 4°C. Posteriormente, se eliminan restos de músculo y la piel se corta en segmentos de 10 x 5 cm, para luego pasar por un proceso de esterilización en varias etapas. (Manuel Alejandro Navas Ortega et al., 2022).

➤ Colocar la piel en un medio o contenedor estéril con gluconato de clorhexidina al 2% (solución con tensioactivos) durante 30 minutos.

➤ Se lava la piel con solución salina estéril, se cambia de contenedor, y se repite el paso anterior durante 30 minutos.

➤ Se lava la piel con solución salina estéril, se cambia de contenedor con glicerol al 50% y se guardan en una caja isotérmica con hielo.

➤ El siguiente paso se realiza en un ambiente estéril, retirando las pieles de la solución de glicerol antes de las 24 horas, serán lavadas con solución salina estéril y se coloca en un

Xenoinjerto de piel de tilapia como una alternativa terapéutica para el tratamiento de quemaduras.

contenedor estéril que contenga 75% de glicerol, 25% solución fisiológica y se procede a masajear la piel por 5 minutos, se cierra herméticamente el contenido que será sometido a baño maría (temperatura de 37°C) por 3 horas, mientras se agita a gran velocidad (15 revoluciones por minuto).

➤ Se retira la piel de tilapia y nuevamente se lava con solución salina estéril, posteriormente se colocan en otro contenedor estéril con solución de glicerol al 100% y se les masajea durante 5 minutos, se cierra de forma hermética el contenedor para realizar nuevamente el baño maría durante otras 3 horas (temperatura de 37°C y 15 revoluciones por minuto).

➤ Finalmente, las pieles son almacenadas en sobres plásticos estériles y sellado doble, siendo almacenados a baja temperatura (4°C).

➤ Para el uso de las pieles ya esterilizadas y preparadas se deben lavar en solución salina estéril 3 veces por 5 minutos en cada lavado y ya pueden ser cortadas en segmentos según el tamaño de la herida, aplicándolas como vendaje oclusivo (Manuel Alejandro Navas Ortega et al., 2022).

DISCUSIÓN

De acuerdo con Baosheng y colaboradores: El colágeno desempeña un papel esencial en la formación de la matriz extracelular (ECM) en el desarrollo, migración de células y tejidos. En este estudio, se investigó la extracción y caracterización del colágeno derivado de la piel de tilapia, centrándose en el colágeno soluble en ácido (ASC) y el colágeno soluble en pepsina (PSC). Se realizaron análisis mediante electroforesis en gel de poliacrilamida con dodecil sulfato de sodio SDS-PAGE, DSC, dicroísmo circular (CD), que confirmaron que ambos tipos de colágeno pertenecen al tipo I y conservan la estructura de triple hélice.

El PSC mostró menor peso molecular y estabilidad térmica, además de baja antigenicidad, por lo que fue seleccionado para preparar hidrogeles biomédicos. La caracterización del colágeno de tilapia, tanto ASC como PSC, muestra que mantiene la estructura de triple hélice del colágeno tipo I, que es esencial para sus funciones en la ingeniería de tejidos.

El colágeno de tilapia, muestra un gran potencial para aplicaciones biomédicas, especialmente en la fabricación de hidrogeles para la curación de heridas. Los hidrogeles de colágeno de tilapia con 10 mg/mL de PSC mostraron una alta capacidad de retención de agua, logrando mantener un ambiente húmedo favorable para la curación; además, muestra una mayor elasticidad superior a la viscosidad favoreciendo su propiedad mecánica de adhesión en heridas, también ha demostrado ser efectivos en la cicatrización rápida de la epidermis y la formación de apéndices cutáneos en quemaduras profundas de segundo grado en modelos de ratas, debido a su composición molecular de relación entre $\alpha 1$ y $\alpha 2$ consistente con el colágeno tipo I. Estos resultados sugieren que el colágeno de tilapia podría ser una valiosa alternativa a otros apósitos para heridas, con aplicaciones potenciales en tratamientos de heridas (Ge et al., 2020).

De acuerdo a Lima y col: los resultados del estudio clínico de fase II, realizado en Brasil en 2016-2017, con pacientes con edades de entre 18 y 50 años, donde se evaluó la eficacia de la piel de tilapia como tratamiento para quemaduras en comparación con el uso tradicional

Xenoinjerto de piel de tilapia como una alternativa terapéutica para el tratamiento de quemaduras.

de sulfadiazina de plata. Los resultados indican que la piel de tilapia presenta ventajas significativas en varios aspectos del tratamiento de quemaduras; como en la reepitelización completa, el uso de sulfadiazina de plata en quemaduras de espesor parcial tiene un tiempo promedio de reepitelización de 15 a 21 días.

En contraste, la piel de tilapia ha demostrado acelerar este proceso, con tiempos de reepitelización que varían entre 10 y 14 días. Aunque las diferencias en el tiempo medio de reepitelización fueron modestas para quemaduras superficiales de espesor parcial, resultaron ser más significativas y clínicamente relevantes en quemaduras profundas de espesor parcial. Este hallazgo es crucial, dado que una reepitelización más rápida puede reducir las complicaciones y mejorar los resultados. Además, el uso de piel de tilapia ha mostrado beneficios adicionales, como la reducción del dolor y la disminución en el número de cambios de apósito necesarios durante el tratamiento disminuyendo así el riesgo de infecciones. Esto no solo alivia el sufrimiento de los pacientes, quienes experimentan menos dolor y estrés durante los cambios de apósito, sino que también reduce la necesidad de analgésicos y anestésicos, como ketamina y fentanilo.

Esto sugiere que el uso de piel de tilapia no solo es eficaz en la cicatrización, sino que también contribuye a un manejo del dolor más eficiente. Además, disminuye la carga de trabajo para el personal de salud y permite un uso más eficiente de los recursos hospitalarios. Es importante considerar que, aunque los resultados son prometedores, la implementación rutinaria de piel de tilapia en el tratamiento de quemaduras requerirá una evaluación continua para garantizar su seguridad, eficacia y aceptación en la práctica clínica. Además, la reducción en el uso de analgésicos y anestésicos puede tener implicaciones importantes en la recuperación general de los pacientes, lo que sugiere un posible impacto positivo en la experiencia del paciente durante el tratamiento de quemaduras. (Júnior et al., 2020)

Gómez y colaboradores: esta revisión exploratoria examina de manera exhaustiva la eficacia de los xenoinjertos de piel de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en el tratamiento de quemaduras cutáneas, comparando su efectividad con métodos convencionales. A partir de una búsqueda sistemática en bases de datos científicas, los autores concluyen que la piel de tilapia ofrece varias ventajas significativas en comparación con los tratamientos convencionales para quemaduras. Los resultados de la revisión demuestran que la piel de tilapia facilita una cicatrización más rápida, requiere menos cambios de apósitos, reduce el dolor de manera más efectiva y resulta en costos más bajos.

Estas ventajas se atribuyen a su alta concentración de colágeno tipo I y III, además de sus propiedades antiinflamatorias y antibacterianas. Su estructura, similar a la de la piel humana, proporciona resistencia a la humedad y buena adherencia al sitio de la herida, lo que mejora el control del exudado y facilita la preparación para posibles autoinjertos. Sin embargo, el artículo también señala ciertas limitaciones en el uso de la piel de tilapia en áreas anatómicas específicas, como el rostro, los genitales y las zonas de flexión, donde la aplicación puede resultar más compleja. A pesar de estas limitaciones, los hallazgos preliminares son prometedores. Los autores recomiendan la realización de ensayos clínicos adicionales para confirmar la seguridad y eficacia de los xenoinjertos de tilapia como una opción terapéutica viable, especialmente en países de ingresos medios y bajos (Gómez et al., 2023)

Xenoinjerto de piel de tilapia como una alternativa terapéutica para el tratamiento de quemaduras.

De acuerdo a Garrity y colaboradores: este estudio evalúa la eficacia de los xenoinjertos de piel de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en el tratamiento de quemaduras de tercer grado utilizando un modelo murino. Tras observaciones clínicas en animales que sufrieron quemaduras durante incendios forestales en California, donde la aplicación de piel de tilapia mostró una notable reducción del dolor y mayor comodidad, se diseñó un experimento controlado para investigar los mecanismos de curación asociados con este tratamiento.

Se utilizaron 32 ratones C57BL/6, divididos en dos grupos de 16, donde un grupo fue tratado con vendajes hidrocoloides y el otro con piel de tilapia. Los ratones fueron evaluados en tres puntos temporales: 7, 16 y 28 días después de la inducción de la quemadura. Los parámetros evaluados incluyeron el tamaño de la herida, la vascularización, la expresión de péptidos antimicrobianos, y análisis hematológicos y moleculares. Los resultados mostraron que, aunque no hubo una mejora significativa en el cierre de la herida en los ratones tratados con piel de tilapia en comparación con los hidrocoloides, se observó un aumento de hasta un 100% en la vascularización en los ratones tratados con piel de tilapia al día 16, lo que sugiere un papel positivo en la angiogénesis.

Además, estos ratones exhibieron una expresión de la defensina 2,5 veces mayor que los controles, lo que indica un potencial beneficioso en la reducción del riesgo de infecciones bacterianas. El análisis proteómico de la piel de tilapia reveló la presencia de péptidos antimicrobianos y antiinflamatorios, apoyando la capacidad de este injerto para mejorar el entorno de cicatrización. Los xenoinjertos de tilapia podrían ser una alternativa terapéutica prometedora, especialmente en contextos de bajos recursos, donde el acceso a tratamientos costosos es limitado.

Sin embargo, para consolidar su uso clínico, es esencial realizar más ensayos clínicos controlados que validen estos hallazgos y exploren su eficacia en otros tipos de heridas, como úlceras por presión o heridas diabéticas. La identificación de los péptidos específicos que contribuyen a la cicatrización y la reducción de infecciones también debería ser una prioridad en futuras investigaciones. (Garrity et al. 2023)

De acuerdo a Aquino y colaboradores: en una revisión sistemática y metaanálisis que incluyó a 199 pacientes, proporcionan evidencia que la piel de tilapia ofrece ventajas significativas sobre los apósitos a base de plata, tanto en términos de reepitelización como en el manejo del dolor y la frecuencia de cambios de apósitos. Según los resultados del metaanálisis, los pacientes tratados con piel de tilapia mostraron una reepitelización completa en un tiempo significativamente menor que aquellos tratados con apósitos a base de plata, con una diferencia media de -0,48 días (IC del 95%: -0,71 a -0,24; $p < 0,01$). Esta aceleración en la cicatrización no solo optimiza el proceso de curación, sino que también disminuye el riesgo de infecciones, lo que es crucial en el tratamiento de quemaduras graves.

En cuanto al manejo del dolor, los pacientes tratados con piel de tilapia reportaron una reducción del dolor significativamente mayor, con una diferencia media en la escala VAS de -0,79 puntos (IC del 95%: -1,10 a -0,47; $p < 0,01$). Este resultado subraya la capacidad de la piel de tilapia para proporcionar un alivio del dolor más eficaz, reduciendo así la necesidad de analgesia continua, lo que mejora considerablemente la calidad de vida del paciente durante la recuperación. Finalmente, un aspecto crítico en el manejo de

Xenoinjerto de piel de tilapia como una alternativa terapéutica para el tratamiento de quemaduras.

quemaduras es la necesidad de cambiar los apósitos, un procedimiento que no solo es doloroso, sino que también puede interrumpir el proceso de cicatrización.

El estudio encontró que los pacientes tratados con piel de tilapia necesitaron significativamente menos cambios de apósitos, con una diferencia media de -3,54 cambios (IC del 95%: -5,81 a -1,26; $p = 0,02$), lo que no solo alivia el dolor asociado con el cambio de apósitos, sino que también reduce la carga de trabajo del personal de salud y los costos hospitalarios. Los hallazgos indican que la piel de tilapia es una opción eficaz y costo-efectiva para acelerar la cicatrización y manejar el dolor en el tratamiento de quemaduras, especialmente en contextos de bajos recursos.

Sin embargo, es necesario realizar más ensayos clínicos para validar estos resultados y explorar su eficacia en otros tipos de heridas y entornos clínicos. La estandarización de métodos de investigación es crucial para generar guías clínicas precisas y promover la adopción generalizada de la piel de tilapia como un injerto innovador en la medicina regenerativa, con el potencial de convertirse en una opción terapéutica de referencia en áreas con recursos limitados.(Moraes et al. 2024)

La revisión bibliográfica realizada identificó un total de 1,510 resultados en bases de datos como PubMed, Scopus, y Google Scholar, de los cuales 100 eran de PubMed, y 1,310 de Google Scholar. Tras un riguroso proceso de selección, se analizaron en detalle 15 estudios relevantes, de los cuales se excluyeron 5 debido a que 2 eran estudios preclínicos, 1 era un artículo duplicado, 1 estaba en un idioma no seleccionado (español o inglés), y 1 no estaba disponible en texto completo.

Finalmente, se incluyeron 10 estudios que comprendían 4 ensayos clínicos, 3 revisiones exploratorias, 1 estudio experimental en modelo animal, y 2 revisiones sistemáticas y metaanálisis. Estos estudios se enfocaron en evaluar la eficacia y seguridad del uso de la piel de tilapia como xenoinjerto en el tratamiento de quemaduras, especialmente en comparación con tratamientos convencionales como la sulfadiazina de plata.

Tabla 1. Estudios que evalúan el uso de xenoinjerto de piel de tilapia en quemaduras.

Autores/ Referencias	Tipo de estudio	Población / Modelo	Intervención	Resultados principales del estudio
Baoseng et al 2020	Estudio experimental	Modelo celular	Hidrogeles biomédicos de colágeno PSC en base a piel de tilapia	Colágeno PSC mostró potencial en curación de heridas y fabricación de hidrogeles.
Lima et al 2020	Estudio clínico de fase II	Pacientes con quemaduras edades comprendidas entre 18 a 50 años	Piel de tilapia aplicada a quemaduras	Piel de tilapia mejoró reepitelización, redujo dolor y cambios de apósitos.
Gómez et al. 2023	Revisión exploratoria	Revisión de literatura	Xenoinjerto de piel de tilapia	Piel de tilapia facilitó cicatrización rápida, reducción de dolor y menores costos.
Garrity et al 2023	Estudio experimental	Modelo murino Ratones	Xenoinjerto de piel de tilapia	Mejora en vascularización y

Xenoinjerto de piel de tilapia como una alternativa terapéutica para el tratamiento de quemaduras.

		C57BL/L6		expresión de defensina, beneficios en cicatrización.
Aquino et al 2024	Revisión sistemática y metaanálisis	Pacientes con quemaduras de espesor parcial	Piel de tilapia aplicada a quemaduras	Superioridad en reepitelización, manejo del dolor y menor necesidad de cambios de apósitos.

CONCLUSIONES

La piel de tilapia ha demostrado ser una alternativa terapéutica eficaz en la aceleración de la cicatrización de quemaduras, superando en algunos aspectos a tratamientos convencionales como la sulfadiazina de plata. Esto sugiere que puede mejorar significativamente los tiempos de recuperación en pacientes con quemaduras; además ofrece una reducción considerable del dolor, lo que disminuye la necesidad de analgésicos y mejora la experiencia del paciente durante el proceso de recuperación.

La piel de tilapia del Nilo emerge como una opción costo-efectiva y prometedora para el tratamiento de quemaduras, especialmente en contextos de bajos recursos como Ecuador, donde la disponibilidad de medicamentos es limitada. Este xenoinjerto ha demostrado beneficios significativos en el manejo de quemaduras superficiales, incluyendo una mejor adherencia a las heridas, menor necesidad de recambios de apósitos, y una reducción en el uso de analgésicos, lo que optimiza el uso de recursos hospitalarios y mejora la experiencia del paciente. Además, su potencial como tratamiento accesible en países del tercer mundo o regiones devastadas por conflictos es considerable, dado su bajo costo y eficacia.

Sin embargo, aunque los resultados iniciales son alentadores, es crucial llevar a cabo ensayos clínicos adicionales a mayor escala para validar su eficacia en otros tipos de heridas y estandarizar los métodos de investigación. La estandarización y validación adecuadas permitirían desarrollar guías clínicas precisas, facilitando su adopción como una solución terapéutica de referencia en medicina regenerativa, particularmente en áreas con recursos limitados. Con la confirmación de estos beneficios, la piel de tilapia del Nilo tiene el potencial de convertirse en una opción de tratamiento preferida en el manejo de quemaduras, destacándose por su efectividad en la cicatrización, alivio del dolor, y rentabilidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aldonza, Giovanna et al. 2023. "The Use of Fish Skin (Tilapia) in Burn Patients as a New Therapy Under Study." *International Journal of Medical Science and Clinical Research Studies* 3(05): 832–35. <https://www.ijmscr.org/index.php/ijmscrs/article/view/769> (August 16, 2024).
- Cabral, Anna Julie Medeiros et al. 2021. "Piel de Tilapia: ¿avance Tecnológico En El Tratamiento de Quemaduras?" *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*: 50–64.
- "Estadísticas INDOT – Instituto Nacional de Donación y Trasplante de Órganos, Tejidos y Células." <http://www.donaciontrasplante.gob.ec/indot/estadisticas-indot/> (August 7, 2024).

Xenoinjerto de piel de tilapia como una alternativa terapéutica para el tratamiento de quemaduras.

- Garrrity, Carissa et al. 2023. "Tilapia Fish Skin Treatment of Third-Degree Skin Burns in Murine Model." *Journal of Functional Biomaterials* 14(10). /pmc/articles/PMC10607444/ (August 15, 2024).
- Ge, Baosheng et al. 2020. "Comprehensive Assessment of Nile Tilapia Skin (*Oreochromis Niloticus*) Collagen Hydrogels for Wound Dressings." *Marine Drugs* 2020, Vol. 18, Page 178 18(4): 178. <https://www.mdpi.com/1660-3397/18/4/178/htm> (August 8, 2024).
- Ghosh, Bikona et al. 2023. "Use of Nile Tilapia Fish Skin in Treatment for Burn Victims." *International Journal of Surgery: Global Health* 6(5). https://journals.lww.com/ijsg/h/fulltext/2023/09010/use_of_nile_tilapia_fish_skin_in_treatment_for.25.aspx (August 15, 2024).
- Gómez, Lina A et al. 2023. "Xenoinjertos de Piel de Tilapia En Quemaduras Cutáneas. Una Revisión Exploratoria." *Cirugía Plástica Ibero-Latinoamericana* 49(3): 309–14. https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0376-78922023000300014&lng=es&nrm=iso&tlng=es (August 15, 2024).
- González, Gabriela Maritza Salinas. 2023. "Xenoinjerto En El Tratamiento de Quemaduras: Xenograft in the Treatment of Burns." *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades* 4(2): 4659–4667–4659–4667. <https://latam.redilat.org/index.php/lt/article/view/926> (August 16, 2024).
- Harun, Haniza et al. 2023. "EVALUATION OF TILAPIA FISH (*OREOCHROMIS NILOTICUS*) SKIN COLLAGEN HYDROGEL POTENTIAL AS BURN WOUND HEALING AGENT." *Malaysian Journal of Microscopy* 19(2): 85–94. <https://malaysianjournalofmicroscopy.org/ojs/index.php/mjm/article/view/757> (August 17, 2024).
- Ibrahim, Mohamed et al. 2023. "Fish Skin Grafts Versus Alternative Wound Dressings in Wound Care: A Systematic Review of the Literature." *Cureus* 15(3). /pmc/articles/PMC10111873/ (August 8, 2024).
- Júnior, Edmar Maciel Lima et al. 2020. "Innovative Burn Treatment Using Tilapia Skin as a Xenograft: A Phase II Randomized Controlled Trial." *Journal of Burn Care & Research* 41(3): 585–92. <https://dx.doi.org/10.1093/jbcr/irz205> (August 11, 2024).
- Karim, A. S., Katherine Shaum, and Angela L.F. Gibson. 2020. "Indeterminate Depth Burn Injury – Exploring the Uncertainty." *The Journal of surgical research* 245: 183. /pmc/articles/PMC8711117/ (August 16, 2024).
- Manuel Alejandro Navas Ortega, Esp, Esp Viviana Jacqueline Pino Villamil, Est Nayely Nicole Bello Alonzo, and Est Jhon Jairo Castro Cantos. 2022. "Manejo de Quemaduras Profundas Con Apósitos Oclusivos Elaborados a Base de Piel de Tilapia." *Dilemas contemporáneos: Educación, Política y Valores*. <https://dilemascontemporaneoseduccionpoliticayvalores.com/index.php/dilemas/article/view/3433> (August 16, 2024).
- Markiewicz-Gospodarek, Agnieszka et al. 2022. "Burn Wound Healing: Clinical Complications, Medical Care, Treatment, and Dressing Types: The Current State of Knowledge for Clinical Practice." *International Journal of Environmental Research and Public Health* 19(3): 1338. /pmc/articles/PMC8834952/ (August 7, 2024).
- Mazurek, Łukasz, Mateusz Szudzik, Mateusz Rybka, and Marek Konop. 2022. "Silk Fibroin Biomaterials and Their Beneficial Role in Skin Wound Healing." *Biomolecules* 2022, Vol. 12, Page 1852 12(12): 1852. <https://www.mdpi.com/2218-273X/12/12/1852/htm> (August 16, 2024).

Xenoinjerto de piel de tilapia como una alternativa terapéutica para el tratamiento de quemaduras.

- Moraes, Francisco Cezar Aquino de et al. 2024. "Nile Tilapia Skin Xenograft Versus Silver-Based Dressings in the Management of Partial-Thickness Burn Wounds: A Systematic Review and Meta-Analysis." *Journal of Clinical Medicine* 13(6): 1642. <https://www.mdpi.com/2077-0383/13/6/1642/htm> (August 15, 2024).
- Przekora, Agata. 2020. "A Concise Review on Tissue Engineered Artificial Skin Grafts for Chronic Wound Treatment: Can We Reconstruct Functional Skin Tissue In Vitro?" *Cells* 2020, Vol. 9, Page 1622 9(7): 1622. <https://www.mdpi.com/2073-4409/9/7/1622/htm> (August 16, 2024).
- Radzikowska-Büchner, Elżbieta et al. 2023. "An Overview of Recent Developments in the Management of Burn Injuries." *International Journal of Molecular Sciences* 2023, Vol. 24, Page 16357 24(22): 16357. <https://www.mdpi.com/1422-0067/24/22/16357/htm> (July 31, 2024).
- Zimba, Bhahat Lawlley, Mwemezi J. Rwiza, and Elingarami Sauli. 2024. "Utilizing Tilapia Fish Skin Biomaterial for Burn Wound Dressing: A Systematic Review." *Scientific African* 24: e02245.
- Żwierzeło, Wojciech et al. 2023. "Burns: Classification, Pathophysiology, and Treatment: A Review." *International Journal of Molecular Sciences* 2023, Vol. 24, Page 3749 24(4): 3749. <https://www.mdpi.com/1422-0067/24/4/3749/htm> (August 16, 2024).