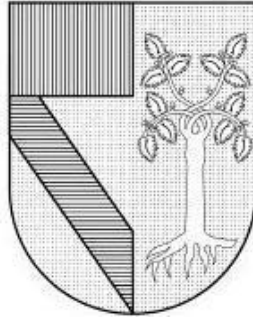


UNIVERSIDAD PANAMERICANA

Facultad de Ciencias de la Salud
Escuela de Enfermería



**“EVALUACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE APÓSITOS COMO INDICATIVO DE
SU CAPACIDAD PARA MANTENER UN AMBIENTE HÚMEDO EN LA
HERIDA”**

TESINA

Q U E P R E S E N T A

SONNY DANIEL PÉREZ MAGDALENO

P A R A O B T E N E R E L G R A D O D E :

MAESTRO EN TERAPIA DE HERIDAS, ESTOMAS Y QUEMADURAS

DIRECTOR:

Fernando Edgar Kröttsch Gómez

INDICE

1. Resumen.	3
2. Abstract.	4
3. Introducción.	5
4. Antecedentes.	11
5. Planteamiento del problema.	13
6. Justificación.	14
7. Hipótesis.	14
8. Objetivo general.	14
9. Metodología.	15
9.1. Evaluación de la porosidad de diferentes apósitos para el manejo avanzado de heridas.	15
9.2. Evaluación de la retención de agua de diferentes apósitos para el manejo avanzado de heridas.	16
9.3. Evaluación de la tasa de transmisión de vapor de agua de diferentes apósitos para el manejo avanzado de heridas.	16
10. Resultados.	17
11. Discusión.	20
12. Conclusión.	23
13. Referencias.	24

1. Resumen.

La cura húmeda en el manejo de heridas ha sido utilizada desde tiempos remotos; no obstante, se le ha tomado mayor importancia desde 1962 con el estudio de Winter, considerado un acontecimiento que marca de manera importante un antes y un después en el manejo avanzado de heridas. Actualmente el personal de salud busca un apósito ideal para tratar lesiones crónicas, sin embargo, esto depende de los factores extrínsecos e intrínsecos del paciente y las características de la misma herida. Los efectos benéficos de la cura húmeda son el control del exudado, con mantenimiento de la humedad, prevención de la formación de la biopelícula y manejo de la infección. En este trabajo nos propusimos analizar 3 parámetros involucrados en el control de la humedad en diferentes apósitos para el cuidado de heridas. Se evaluó la porosidad y la retención de agua, midiendo la cantidad de alcohol y agua que cada apósito retenía, respectivamente. Para determinar la tasa de transmisión de vapor de agua (TTVA) los apósitos fueron colocados y sellados en la boca de un recipiente que contenían agua bidestilada, y después sometidos a incubación con temperatura y humedad controladas; la TTVA se cuantificó también por diferencia de peso. Los apósitos analizados fueron Alginato de Calcio, Algisite Ag, Mepilex Ag, Aquacel Ag+Extra, Endovelico, Askina/Calgitrol, Exufiber, Acticoat y Allevyn. Los resultados mostraron que los apósitos basados en hidrofibra de carboximetilcelulosa y alginatos, seguidos de poliuretanos, tienen mayor capacidad de absorción de agua y que permiten mayor TTVA, pudiéndose utilizar en heridas altamente exudativas. Los apósitos de poliuretano pueden mantener un microclima adecuado, dada su porosidad que retiene el ambiente húmedo, además de prevenir la fricción. En conclusión, conocer las propiedades fisicoquímicas del material para el manejo de heridas contribuye a la selección adecuada del apósito para cada herida.

2. Abstract.

Moist wound healing has been used since ancient times. However, it has gained importance since 1962 with Winter's study, that has been considered a watershed that marks significantly, the before and after in advanced wound care. Currently, health staff are looking for the ideal dressing to treat chronic wounds; however, the success depends on the extrinsic and intrinsic factors of the patients, and the characteristics of their wounds. The control of exudate in wounds promotes moisture maintenance and prevents biofilm formation and favors infection management. In this work, we set out to analyze 3 parameters involved in moisture control in several wound care dressings. Porosity and water retention were evaluated by measuring the amount of alcohol and water retained by each dressing, respectively. Water vapor transmission rate (WVTR) was assessed by placing and sealing dressings in the mouth of a lab tube containing double-distilled water. Tubes were incubated under controlled temperature and humidity, and WVTR was quantified by weight difference. The dressings analyzed were Calcium Alginate, Algisite Ag, Mepilex Ag, Aquacel Ag+Extra, Endovelico, Askina/Calgitrol, Exufiber, Acticoat and Allevyn. The results showed that dressings based on carboxymethylcellulose hydrofibers and alginates have shown the higher water absorption and allow higher WVTR than polyurethanes, favoring their use in highly exudative wounds. Polyurethane dressings can maintain an adequate microclimate because their porosity that retains the moisture from the environment; besides they prevent friction. In conclusion, the knowledge of the physicochemical properties of wound dressings contributes to the appropriate choice of the wound treatment.

3. Introducción.

El proceso salud-enfermedad siempre ha estado presente en la historia de los seres humanos y parte de esa historia es representada por el manejo de heridas agudas o crónicas (Obagi Z *et al.* 2019). En el año 1962 el doctor e investigador George D. Winter (1927-1981) dio a conocer un estudio en porcinos donde demostraba que un microclima húmedo es el óptimo para la cicatrización de las heridas, en especial heridas crónicas, cuyos niveles de curación eran de tres a cinco veces más rápidos en comparación con un microclima seco (Guest JF *et al.* 2018, Nuutila K *et al.* 2020)

Desde entonces se ha aceptado que el control de la humedad desarrolla un proceso fisiológico, permitiendo la migración celular y la estabilidad de factores proinflamatorios (citocinas). La humedad en la herida también favorece la quimiotaxis a través de la migración celular, especialmente la de células polimorfonucleares, consideradas como parte de la primer barrera de defensa del organismo por la eliminación de microorganismos y *detritus* del tejido dañado. De manera que el mantener una herida con la humedad apropiada permite el curso del proceso de cicatrización, que incluye la liberación de diferentes mediadores solubles que promueven la apoptosis, la angiogénesis, fibroplasia, epitelización y contracción (Martínez Correa *et al.* 2020).

Por otro lado, en una herida seca la respuesta fisiológica es deficiente, por lo que se retrasa el proceso de cicatrización. Sin embargo, si una herida mantiene demasiada hidratación, inmediatamente se modifica el microclima, lo que genera una cantidad excesiva de exudado acumulado que provoca la maceración y daño en la lesión misma, y en los bordes de la herida, lo que retrasa el proceso de cicatrización e incrementa su tamaño; además de que ya que favorece un ambiente óptimo para la proliferación bacteriana. Así que, con base en los anterior, es indispensable el equilibrio en la humedad para el cierre de una herida (Obagi Z *et al.* 2019). Una herida con el microclima apropiado facilita el desbridamiento autolítico, disminuye el dolor y es favorable para llevar a cabo diferentes tratamientos cicatrizantes, como es la colocación de matrices dérmicas, epidérmicas e injertos (Nuutila K', *et al.* 2017).

Los apósitos avanzados para la curación de heridas son biomateriales que están diseñados para estar en contacto con la herida, y su efecto es proporcionar las condiciones necesarias para prevenir físicamente un daño mayor o la infección de la lesión, además de que crean un microclima ((Rezvani Ghomi *et al.* 2019). No obstante, esas propiedades, los apósitos diseñados para una cura avanzada pueden contener agentes desbridantes o antimicrobianos (Qian Y *et al.* 2019), e incluso tecnologías para el cuidado de la herida y de la piel perilesional.

Ahora bien, actualmente el uso de apósitos se relaciona principalmente con funciones básicas que parten desde la preparación del lecho de la herida y desbridamiento de tejido desvitalizado, prevención o manejo de la infección, mantener un microclima adecuado, ser el andamio para la epitelización de las heridas, brindar protección ante fuerzas de cizallamiento, fricción y presión, tener la característica de cambiarse y eliminar fácilmente, ser biocompatibles, aliviar el dolor y estar disponibles en el mercado (Obagi Z *et al.* 2019, Bhoyar SD *et al.* 2023). De acuerdo con su función y aplicabilidad, los apósitos pueden ser clasificados en antimicrobianos, oclusivos, absorbentes. Por otro lado, también se pueden clasificar con base en el tipo de material del que están hechos (origen animal, vegetal, sintético) o su forma químico-estructural (ungüento, película, espuma, gel, fibras, entre otros) (Bhoyar SD *et al.* 2023).

A continuación, se describen algunas de las características principales de los apósitos empleados en este trabajo:

- **Alginatos:** Están compuestos por fibras de polisacáridos aniónicos lineales, no tejidas y no adhesivas. Estos son derivados de algas marinas pardas que se elaboran a través de la combinación del ácido algínico con sales de calcio y sodio. El ácido algínico está compuesto por ácido D-manurónico con enlaces beta 1-4 y ácido L-glucurónico, y la proporción de ambos dicta las propiedades fisicoquímicas del apósito. Altas concentraciones de ácido D-manurónico producen una mayor gelificación a diferencia de una alta concentración de ácido L-glucurónico que promueve la estabilidad de las fibras (Obagi Z *et al.* 2019, Nuutila

K *et al.* 2020, GNEAUPP 2022, Deutsch CJ *et al.* 2017). Es por ello, que algunos alginatos de acuerdo con su ficha técnica responden a la capacidad de absorción entre 10 y 20, 20 y 30, 40 o en algunos casos 60 veces su peso en exudado. Los apósitos con alginatos están indicados en heridas con exudado moderado a abundante (Martínez Correa *et al.* 2020, Jiao W *et al.* 2019). La hidrofilia, el índice de biocompatibilidad y la capacidad de retención de exudado son características que distinguen a este apósito. Sin embargo, tiene mayor desplazamiento al momento de estar en contacto con el lecho de la herida, lo que requiere de un apósito secundario para su permanencia (Deutsch CJ *et al.* 2017). Los alginatos pueden acelerar el proceso de cicatrización, ya que se ha reportado que activan las funciones de los macrófagos, además de estimularlos para producir interleucinas (IL), especialmente IL-6 y factor de necrosis tumoral alfa (TNF- α) (Nuutila K *et al.* 2020, Bhoyar SD *et al.* 2023). También actúan como apósito principal para la hemostasia superficial de una herida. Al entrar en contacto con la sangre, los iones de sodio de la herida se unen a los iones de calcio del apósito, formando alginato de sodio y sal de calcio; aunado a la activación del factor de coagulación XIII, que permite formar un coágulo como capa protectora en la herida (Obagi Z *et al.* 2019, Bhoyar SD *et al.* 2023).

- **Hidrofibras:** Las fibras de carboximetilcelulosa (CMC) regenerada han sido utilizadas en apósitos para el cuidado de heridas por sus propiedades higroscópicas (retención alta de agua). Los apósitos con CMC pueden emplear solo las fibras de celulosa o las fibras “cosidas” con materiales de refuerzo como Lyocell; tal y como es el caso del apósito formado por CMC regenerada sódica que contiene 1.2% de plata iónica, cloruro de bencetonio (BEC) y la sal disódica del ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) (Obagi Z *et al.* 2019, Bhoyar SD *et al.* 2023, Wang J, *et al.* 2022, Boston Medical Device 2020). En este caso, las fibras de Lyocell brindan mayor resistencia, la CMC la capacidad de absorción por acción capilar de, hasta 25 veces su peso en exudado, formando un gel suave y cohesivo

que permite mantener un microclima adecuado al estar en contacto con el lecho de la herida, controlando los microorganismos con la ayuda del antiséptico y ayudando al desbridamiento autolítico (Bhoyar SD *et al.* 2023, Boston Medical Device 2020). El EDTA actúa como agente quelante, permitiendo la separación y licuación del glicocálix microbiano impidiendo su neoformación. Cabe mencionar que el EDTA sinergiza el efecto del BEC, incrementando la eficacia del efecto de la plata contra los microorganismos, donde se sabe que es el metal entra al núcleo celular, daña el ADN, y desnaturaliza a las proteínas locales, e interfiere con la síntesis de proteínas vitales para el desarrollo del microorganismo (Furtado Katia *et al.* 2019, Orlov A *et al.* 2022). Por su parte, el BEC, actúa como factor surfactante sobre el exudado de la herida y los microorganismos ocasionando la ruptura del glicocálix del biofilm al reducir la tensión superficial entre ellos.

Además del apósito descrito, existe almohadillas de alcohol polivinílico, estéril y con sulfato de plata, que le permite tener un efecto antimicrobiano y contra la formación del biofilm. De acuerdo con el fabricante, la denominada tecnología “hidrolock” le permite gelificarse al estar en contacto con el exudado de la herida, lo que crea un microclima adecuado para la cicatrización de heridas (Orlov A *et al.* 2022, Lustig A *et al.* 2021). Este apósito de tiene nivel de absorción de exudado de moderado a abundante, y la capacidad de transferir el exudado fuera del lecho de la herida mediante acción capilar, manteniendo su estructura e integridad, lo que facilita su retiro sin complicaciones (Kate Meredith *et al.* 2018, Molnlycke 2023).

En general, el índice de biocompatibilidad, la capacidad de retención del exudado, así como su efecto antimicrobiano, son características que distinguen a estos apósitos de hidrofibra (Boston Medical Device 2020)¹³. Sin embargo, en todos los casos requieren de un apósito secundario que proporcione un refuerzo en su estructura o que los mantenga en el sitio de la lesión, sobre todo cuando éstos se han hidratado (Obagi Z *et al.* 2019).

- **Espumas:** Son polímeros, regularmente compuestos de poliuretano, polietileno o silicona (Nuutila K *et al.*, 2020), se forman por la reacción química de un poliol e isocianato, aunado al intercambio de gases, entrada de oxígeno y salida de dióxido de carbono (GNEAUPP 2022). En la actualidad existen apósitos de espuma de tres y cinco capas, lo que les permite tener diferente funcionalidad de acuerdo con la valoración clínica integral y el objetivo planteado.

Los apósitos de 3 capas constan de una capa hidrófila de característica porosa, que está en contacto con el lecho de la herida, permitiendo el paso de exudado hacia la capa media del apósito estructurada de celdillas donde ocurre la gestión del exudado y la generación del microclima óptimo. Se ha reportado que este ambiente estimula la angiogénesis y la formación de tejido de granulación. Por último, pero no menos importante, los apósitos de espumas pueden contener una capa externa hidrófoba semipermeable que funge como barrera para el paso de microorganismos, contra el líquido, además de permitir el intercambio de gases y el vapor de agua (Obagi Z *et al.* 2019, Nuutila K *et al.*, 2020, Bhoyar SD *et al.* 2023). Los apósitos de 5 capas incluyen una capa más interna de fibras super absorbentes que permiten mejorar la gestión del exudado, y una más externa de tecnología avanzada generalmente de silicona para evitar la adherencia del apósito, lo que minimiza el riesgo de maceración y facilita una fijación segura del apósito sin adherencia al lecho de la herida (Zeng R *et al.* 2022).

Los apósitos de espuma de poliuretano se han utilizado con mayor frecuencia debido a su índice de biocompatibilidad, flexibilidad adecuada, gestión del exudado, de moderado a abundante, y por su adecuado índice de tasa de transmisión de vapor de agua (Nuutila K *et al.* 2020, Bhoyar SD *et al.* 2023, Zeng R *et al.* 2022). A su vez, están diseñados para prevenir lesiones por presión, fricción y/o cizallamiento (Forni C *et al.* 2022, Beeckman D *et al.* 2021, Lechner A *et al.* 2021) Sin embargo, debido a su composición tienen menor capacidad de gestionar el exudado lo que lleva a cambiar el apósito de manera más temprana,

aproximadamente a los tres días comparado a los alginatos e hidrofibras que puede ser cambiado hasta los 7 días (Obagi Z *et al.* 2019).

Los componentes de los apósitos se relacionan con sus características fisicoquímicas, que a su vez dictan la funcionalidad para el manejo de heridas (Hernández JL *et al.* 2022). Algunas de las características más importantes son: la porosidad, la retención de humedad y la tasa de transmisión de vapor de agua (TTVA). Estos tres factores deberán ser considerados tanto como la valoración integral del paciente y el manejo correcto de la herida a nivel local.

- **La porosidad** es un parámetro importante que refleja la microestructura del apósito, donde el volumen del espacio vacío es un parámetro relacionable con la capacidad de retener exudado de la herida debido a que este espacio se puede llenar de fluido o aire (Hernández JL *et al.* 2022); aunque los poros, pueden estar interconectados entre sí o ser sistemas aislados (Sama Bos K *et al.* 2021). Actualmente es sabido que los apósitos desarrollados con tecnología avanzada actúan de acuerdo con el tipo de porosidad. Cuando la estructura del apósito esta relacionada con la porosidad cerrada, tenemos un apósito donde los poros no se conectan entre ellos ni con el exterior, el espacio vacío se llena de aire, influyendo en las propiedades mecánicas del apósito, lo que da como resultado un apósito diseñado para la prevención de lesiones por presión, fricción y/o cizallamiento. Por otra parte, cuando la estructura del apósito esta relacionada con la porosidad abierta, tenemos un apósito donde los poros se comunican entre sí y con el exterior, el espacio vacío se llena de líquido, dando la propiedad de absorción y permeabilidad al apósito (Hernández JL *et al.* 2022).
- **La retención de humedad**, por su parte, es una característica fisicoquímica de los apósitos para el cuidado de las heridas (Nuutila K *et al.*, 2020). Entendidas como la capacidad de un apósito para absorber y retener en su interior líquidos, las curvas de retención de agua en el apósito suelen ser determinadas por la relación entre la hidratación y su volumen, reflejando la capacidad del apósito para

mantener el agua en su estructura; dicha relación depende de la porosidad del apósito y los grupos funcionales de hidrófilos que puedan interactuar con el líquido (Bêjar Pulido *et al.* 2020, Lin N *et al.* 2021).

- **TTVA**, también conocida como **tasa de transmisión de humedad**, es una propiedad fisicoquímica que determina la capacidad de un apósito para gestionar la pérdida de agua (Xu R *et al.* 2016) es decir, la capacidad que tiene de transferir vapor de agua entre el lecho de la herida y el ambiente externo en condiciones específicas de humedad y temperatura (Nuutila K *et al.* 2020). Por ende, la humedad y la temperatura de la herida puede ser regulada mediante el uso de apósitos avanzados con diferentes TTVA.

Tomando en cuenta un apósito con una TTVA alta, tendremos como resultado la desecación de la herida. Por otro lado, si tenemos un apósito con TTVA baja tendremos como resultado la hidratación de la herida, reflejándose en la acumulación excesiva de exudado (Nuutila K *et al.* 2020, Lin N *et al.* 2021). Por lo tanto, para proporcionar un microclima adecuado al lecho de la lesión se requiere de un apósito con adecuada TTVA para favorecer un entorno óptimo que genere la cicatrización de las heridas.

4. Antecedentes.

En la actualidad, los avances en la tecnología han sido de manera ascendente y abrupta; ésta no es la excepción en el desarrollo de apósitos para el cuidado de heridas. La investigación en el campo de los apósitos está centrada en los efectos, que los materiales tienen, sobre la velocidad y eficiencia del cierre de la herida. Sin embargo, la mayoría de las investigaciones realizadas no evalúan de manera sistemática y detallada las propiedades fisicoquímicas de los apósitos encargados de regular el microclima de la herida (Xu R *et al.* 2016).

Desde hace décadas se han realizado estudios acerca de las propiedades fisicoquímicas de los apósitos, y en muy pocos casos se hace referencia a la porosidad, la retención de agua y la TTVA en un mismo experimento. Además, en varios de los estudios no se describe correctamente del método gravimétrico empleado o éste es una improvisación inadecuada del mismo, lo que lleva a tener resultados confusos o incluso erróneos. Por ejemplo, en el estudio de la aplicaciones médicas de biomateriales porosos de Hernández JL y Woodrow KA (Hernández JL *et al.* 2022) se describió correctamente el método gravimétrico que se empleó para medir la porosidad, las ecuaciones utilizadas para medir el tamaño del poro y para calcular el volumen en porcentaje de cada poro, también se resaltó que todo aquel biomaterial poroso es diseñado con el objetivo de aumentar la perfusión de la herida, ayudar a la absorción de exudado mediante capilaridad, la prevención de fuerzas mecánicas que lesiones el tejido cubierto, la gelificación y el atrapamiento de microorganismos, sin embargo no se describen otras propiedades fisicoquímicas como la retención de agua o la TTVA.

Por otro lado, en algunos trabajos donde se valoró apropiadamente la capacidad de absorción y durabilidad de los apósitos (Lustig A *et al.* 2021) o la doble función para la destrucción de bacterias y la adsorción de endotoxinas (Qian Y *et al.* 2019) se puede apreciar cómo los autores describen de manera idónea el método gravimétrico relacionado con la absorción de agua. En donde se observa que de acuerdo con el material del que está hecho el apósito, será la capacidad de absorción de agua que éste tenga, además de enfatizar la importancia del nivel de exudado para ser relacionado con la durabilidad en el lecho de la herida; a mayor exudado requiere ser cambiado más rápido y a menor exudado mayor posibilidad del tiempo de contacto con la herida. De manera más completa, en el trabajo de Xu R y cols. se observa la evaluación de la porosidad, retención de agua y TTVA en materiales para el cuidado de heridas, donde los autores hacen énfasis en que es necesario un microclima adecuado para la cicatrización de heridas, ya que la evaporación apropiada de agua en una herida promueve la curación a través de favorecer las condiciones adecuadas para la reepitelización y la contracción (Xu R *et al.* 2016).

Si bien este estudio solo fue realizado con espumas de poliuretano y deja fuera otros materiales comúnmente utilizados en la industria de heridas, en él se describen correctamente los métodos gravimétricos y las ecuaciones empleadas para cada una de las evaluaciones.

Quizá los trabajos de revisión bibliográfica sean algunos de los más completos y con mayor aplicación en la práctica clínica, ya que en ellos se puede encontrar la comparación entre diferentes apósitos comerciales, sin embargo, nuevamente las referencias vienen de estudios donde se miden solo algunas de las propiedades que cada grupo de autores consideran más importantes, lo que deja la comparación un tanto vacía o al menos incompleta (Nuutila K *et al.* 2020). Así que en resumen se aprecia que prácticamente en ningún estudio de los revisados en esta tesina se menciona la aplicación de todo el conocimiento de investigación a la práctica clínica. No se relacionan los resultados de las pruebas de laboratorio con la aplicabilidad que le puede dar el personal de salud, especialmente todo aquel que esté especializado en el manejo de heridas.

5. Planteamiento del problema.

Con el paso del tiempo se ha desarrollado la necesidad de que el personal de salud valore a los pacientes de una manera integral, no es la excepción del personal especialista en pacientes con heridas, que tiene el compromiso de saber determinar la etiología de la herida, realizar una correcta valoración para poder brindar el tratamiento correcto que ayude a cicatrizar las heridas en un tiempo corto, con el mínimo de complicaciones y un gasto sanitario mínimo. No obstante, para lograr esto tiene que saber cuáles son las propiedades fisicoquímicas de los apósitos que indican la capacidad de mantener un ambiente húmedo en la herida, así como su aplicabilidad en las diferentes etapas del proceso de cicatrización con el fin de cerrar la lesión.

6. Justificación.

El manejo del paciente con heridas involucra el estado salud-enfermedad del paciente, factores intrínsecos y extrínsecos que favorecen las condiciones necesarias generadoras de un microclima húmedo para la cicatrización de heridas. Hoy en día, existen diferentes empresas interesadas en el manejo avanzado de heridas mediante apósitos de cura húmeda; cada una promueve propiedades diferenciadas de sus apósitos, basadas en características fisicoquímicas específicas que destacan el desarrollo de tecnologías para prevenir lesiones por fuerzas mecánicas, favorecer el desbridamiento autolítico y gestionar el exudado. No obstante, es vital conocer datos específicos de esos materiales de manera que los profesionales de la salud puedan asociar las propiedades fisicoquímicas de los apósitos para el manejo avanzado de heridas con las expectativas de curación de las lesiones, haciendo énfasis en pruebas de porosidad, retención de agua y TTVA que dictan las características del material en el tiempo y los efectos de la cura húmeda.

7. Hipótesis.

Debido a que el proyecto está diseñado como un estudio descriptivo, el planteamiento de una hipótesis no aplica como tal.

8. Objetivo general.

Evaluar la porosidad, la retención de agua y la tasa de transmisión de vapor de agua, como 3 de los parámetros fisicoquímicos involucrados en el control de la humedad en diferentes apósitos comerciales para el cuidado de heridas.

9. Metodología.

Los apósitos analizados en este trabajo fueron: Alginato de calcio (Covidien Kendall, USA), Algisite Ag (Smith & Nephew, Reino Unido), Mepilex Ag (Molnlycke, Suecia), Aquacel Ag+Extra (Convatec, Dinamarca), Endovelico (LGMD, USA), Askina/Calgitrol (B-Braun, Alemania), Exufiber (Molnlycke, Suecia), Acticoat (Smith & Nephew, Reino Unido) y Allevyn (Smith & Nephew, Reino Unido). Los diferentes materiales fueron clasificados de acuerdo con su composición como hidrofibras, alginatos y espumas. Todas las evaluaciones se realizaron por triplicado, y los datos graficados representan el promedio \pm la desviación estándar (DE). Se realizaron pruebas de comparación múltiple (prueba de Dunn), posterior al análisis de ANOVA (prueba de Friedman); no obstante, dado que los datos solo vienen de triplicados, y la variabilidad interna de estos es relativamente alta, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en ninguno de los ensayos realizados.

9.1. Evaluación de la porosidad de diferentes apósitos para el manejo avanzado de heridas.

El análisis de la porosidad de los diferentes apósitos se cuantificó mediante un método gravimétrico (Xu R *et al.* 2016). Los apósitos se cortaron con un sacabocado cilíndrico, se midió el diámetro y la altura con un instrumento de medida lineal (Vernier) para calcular el volumen. Posteriormente los discos de cada apósito se pesaron en una balanza analítica y fueron sumergidos en etanol absoluto y colocados en un desecador al vacío por 5 min. Finalmente, a los apósitos se les eliminó el exceso del solvente sobre un papel filtro y fueron pesados. Con esos datos se calculó la cantidad de etanol que ocupó el espacio de los poros de cada apósito.

La Porosidad se calculó con la siguiente formula:

$$\text{Porosidad} = (W2 - W1) / \rho \times V^{-1} \times 100\%$$

Donde W1 fue el peso inicial, W2 el peso final, ρ la densidad del etanol, cuyo valor es de 0.789 g/ml, por último, V el volumen calculado del apósito.

9.2. Evaluación de la retención de agua de diferentes apósitos para el manejo avanzado de heridas.

La capacidad de retención de agua de los diferentes apósitos se determinó mediante un método gravimétrico (Xu R *et al.* 2016), donde los apósitos que se cortaron y midieron como se describió en el inciso 9.1, se pesaron en una balanza analítica y fueron sumergidos en agua bidestilada por 24h. Se retiró el exceso de agua sobre un papel filtro y los apósitos se volvieron a pesar, de ahí se obtuvo la cantidad de agua retenida por el apósito.

La capacidad de retención de agua se calculó con la siguiente formula:

$$\text{Capacidad de retención de agua (\%)} = W_{wet} - W_{dry} / W_{dry} \times 100$$

Donde W_{wet} representa peso húmedo y W_{dry} el peso seco.

9.3. Evaluación de la tasa de transmisión de vapor de agua de diferentes apósitos para el manejo avanzado de heridas.

Para determinar la permeabilidad a la humedad, se realizó el análisis de la tasa de transmisión de vapor de agua de los diferentes apósitos mediante un método gravimétrico, modificado de Xu R *et al.* 2016.

Los apósitos se cortaron y colocaron en la boca de tubos de ensayo de fondo plano, que contenían agua bidestilada hasta 5mm antes del borde de la boca del tubo; los bordes de cada apósito fueron sujetos con ligas para permitir el sello hermético del apósito con el tubo. Los tubos con el agua y los apósitos colocados fueron pesados en una balanza analítica y se incubaron por 24h a 37°C, en una humedad relativa del 64%. Al término del tiempo de incubación los tubos se volvieron a pesar, y por diferencia de peso se calculó la cantidad de agua perdida en forma de vapor.

La tasa de transmisión de vapor de agua se calculó con la siguiente formula:

$$TTVA = (W1-W2)/A(m^2)$$

Donde W1 fue el peso inicial de todo el sistema, W2 el peso final, y A fue el área de la boca del tubo en m². Como la medición se realizó a las 24h, entonces la fórmula no requiere de mayor modificación.

10. Resultados.

Las espumas como *Mepilex Ag*, *Askina Calgitrol* y *Allevyn*, presentaron los datos de porosidad más altos, siendo 85.2%, 79.9%, 63%, respectivamente. Por su parte, las películas, hidrofibras o alginatos como *Endovelico*, *Exufiber*, *Aquacel Ag+Extra*, *Acticoat*, *Alginato de calcio* y *Algisite Ag*, tuvieron valores de porosidad prácticamente menores y que fueron desde el 67% hasta el 47.5% (Figura 1). Los datos de porosidad reflejan, en parte, las propiedades de los apósitos para mantener un microclima, dato que se conformará al final con la integración de los valores de retención de agua y TTVA.

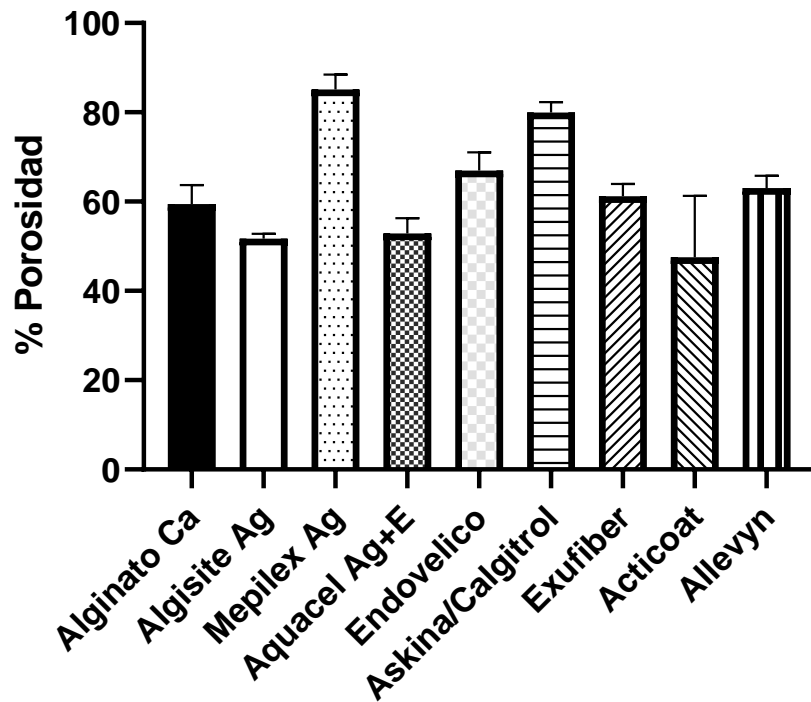


Figura 1. Porosidad de los diferentes apósitos expresada en porcentaje de su volumen. Los datos graficados representan el promedio \pm DE.

Por otro lado, los apósitos basados en hidrofibra de carboximetilcelulosa y alginatos, seguidos de las espumas, tuvieron la mayor capacidad de retención de agua y permitieron mayor TTVA, pudiéndose utilizar así, en heridas de, altamente exudativas a lesiones con baja secreción de exudado, de manera correspondiente. Particularmente, *Aquacel Ag+Extra*, debido a su tecnología con dos capas de hidrofibra de carboxilmetilcelulosa fue capaz de retener agua hasta 27 veces su propio peso, mientras que su TTVA fue de 2,683 g/m² en 24h, seguida del *Alginato de calcio* con retención de agua hasta 18 veces su propio peso y una TTVA de 2,210 g/m² en 24h. *Algisite Ag* retuvo hasta 14 veces su propio peso, con una TTVA de 2,418 g/m² en 24h, mientras que *Allevyn* y *Endovélico* fueron capaces de retener agua hasta 11 veces su propio peso; aunque la TTVA varió de 1,699

a 2,660 g/m² en 24h, respectivamente. De manera similar, *Mepilex Ag* y *Askina calgitrol* retuvieron 8 veces su propio peso en agua, pero con TTVA de 1392 y 1741 g/m² en 24h, respectivamente.

Finalmente, *Exufiber* y *Acticoat* retuvieron 7 y 6 veces su propio peso en agua, con TTVA de 2,473 y 2,859 g/m² en 24h, respectivamente. (Figuras 2 y 3).

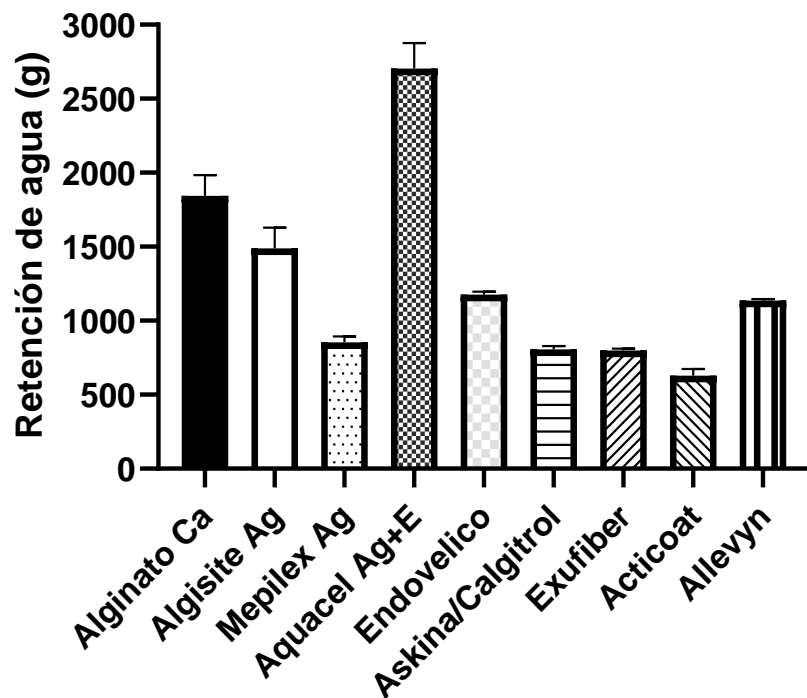


Figura 2. Retención de agua en 24h de los diferentes apósitos, expresada en gramos. Los datos graficados representan el promedio \pm DE.

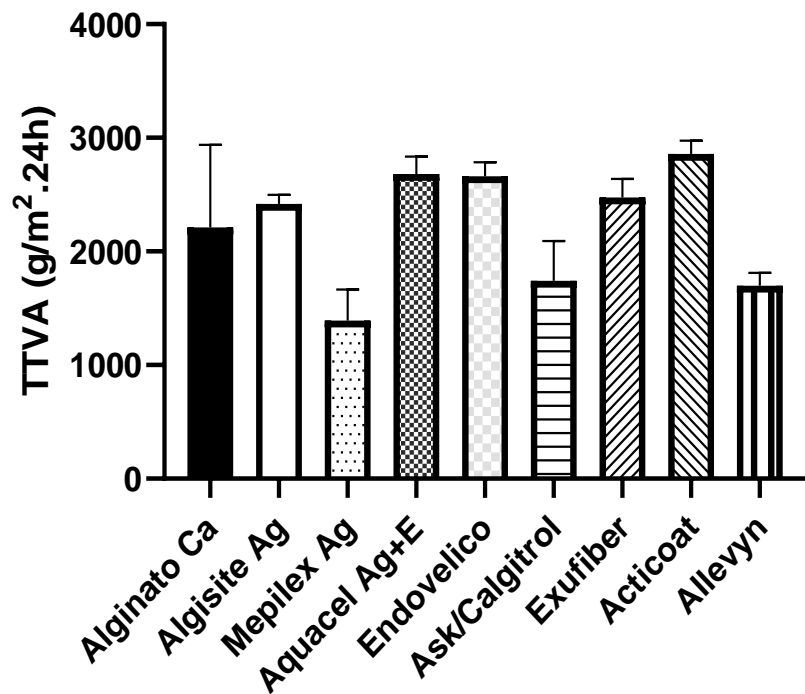


Figura 3. Tasa de transmisión de vapor de agua de los diferentes apósitos, expresada en gramos por m², en 24h. Los datos graficados representan el promedio \pm DE.

11. Discusión.

Se sabe que para poder cicatrizar una herida escisional aguda o crónica se necesitan apósitos avanzados que beneficien la cura húmeda. El brindar el microclima adecuado en una lesión permite progresar en las fases del proceso de cicatrización, incluyendo la hemostasia, inflamación o infección, proliferación, remodelación y epitelización, hasta propiamente cerrar la herida. Es importante mencionar que existen heridas difíciles de cicatrizar en las cuales este tipo de apósitos se utilizan para gestionar el exudado, disminuir el dolor y olor de una herida, controlar el sangrado, prevenir los traumatismos, etc.

Si bien algunas investigaciones refieren la porosidad y/o retención de agua y/o TTVA de los apósitos, no todas hacen la comparación entre ellos, no obstante que hoy en día ya se empiezan a tomar en cuenta esas características y a relacionar su importancia con el cuidado del paciente.

El diseño de los apósitos para el cuidado de heridas requiere de diferentes aspectos relacionados con el control de la humedad en el lecho cicatrizante. Por ejemplo, la preparación de espumas de poliuretano con dimetilformamida y citrato de sodio genera diferentes grados de porosidad, que a su vez presentan niveles diferenciados de retención de agua y TTVA (Xu R *et al.* 2016).

Sin embargo, en nuestro trabajo observamos comportamiento diferente al reportado por Xu R. y cols., particularmente en apósitos como Allevyn, con porosidad de 63%, Mepilex Ag de 85.2% y Askina Calgitrol de 79.9%, siendo todos espumas de poliuretano, los cuales absorbieron una proporción de agua semejante entre sí (Allevyn 11 veces, Mepilex Ag y Askina Calgitrol 8 veces) y presentaron una TTVA similar (Allevyn 1,699, Mepilex Ag 1,392 y Askina Calgitrol 1,741 g/m².24h. Es importante considerar que varios de los apósitos para el manejo de heridas exudativas contienen una capa permeable de silicón, que en muchos casos es responsable de la fijación del apósito a la lesión (Nuutila K *et al.* 2020); vale la pena considerar que esa cubierta podría estar modificando los valores en la TTVA, si es que no hubiera sido considerada cuando se diseñó y preparó la estructura de poliuretano.

La microestructura de los apósitos es proporcional al volumen del espacio vacío de los mismos, que puede ser ocupado por aire o fluidos (Hernández JL *et al* 2022), lo que, en parte, dicta las propiedades y aplicaciones de los apósitos de acuerdo con su porosidad. Por ejemplo, los apósitos con poros cerrados son empleados principalmente para distribuir la presión sobre la superficie de la piel o las heridas y prevenir el daño; pero éstos no tienen la mejor captación de fluidos.

En cambio, los apósitos de poros abiertos, además de tener capacidad de amortiguación, también pueden retener fluidos en la medida que sus demás componentes lo favorezcan. Es así que los apósitos de espumas evaluados en este trabajo mostraron mayor porosidad, pero baja o moderada retención de agua (Allevyn, Mepilex Ag, Askina Calgitrol), mientras que los apósitos con porosidad variable, pero estructurados a base de hidrofibras retuvieron la mayor cantidad de agua (Aquacel Ag⁺Extra, Alginato de calcio y Algisite Ag), y eso fue debido a los componentes con los que están preparados, tal y como son las hidrofibras de carboximetilcelulosa, alginatos o películas de alcohol polivinílico.

Es de resaltar que la medición de una de las propiedades de los apósitos, motivo de este trabajo, fue la TTVA. Para nuestro experimento nos basamos en publicaciones revisadas por pares, y que provienen de revistas de prestigio científico. No obstante, el método nos llevó a obtener datos que no parecían coincidir con los reportados para algunos de los apósitos evaluados, por lo que, de manera independiente a este trabajo, se repitieron las mediciones en el Laboratorio de Tejido Conjuntivo del Instituto Nacional de Rehabilitación “Luis Guillermo Ibarra Ibarra”, pero ahora realizando el ensayo en recipientes con mayor tamaño de la boca, lo que hizo que las determinaciones de la evaporación del agua fueran más confiables, y con menos variaciones (Kröttsch E. *et al.* Manuscrito en preparación). Por lo anterior, los resultados de TTVA obtenidos en este trabajo deben ser tomados solo como una referencia, pero reconociendo que no son correctos. Esta limitación no demerita este estudio, por el contrario, motiva a los lectores a revisar con más cuidado las metodologías analíticas a emplear durante una investigación de laboratorio y/o clínica.

12. Conclusión.

En la actualidad, existen diversas empresas que presentan una amplia gama de apósitos avanzados, todas ellas muestran evidencia científica enfocada en las características generales de los apósitos, estructura, funciones y en qué tipo de pacientes los han utilizado. Sin embargo, no hay casa comercial que mencione, al momento de hacer la presentación de sus productos, las propiedades fisicoquímicas de estos. Y si bien no podemos decir que existe un apósito ideal para las heridas, sí podemos hacer énfasis en que hay apósitos indicados, de acuerdo con la valoración integral del paciente por parte del personal de salud experto en la materia, que determina la etiología de la herida, las dimensiones, el tipo de tejido, bordes, piel perilesional, exudado en cantidad y calidad, si existen signos de colonización, propagación de la infección o infección sistémica, además de tomar en cuenta si hay un equilibrio y control de la patología de base, comorbilidades, factores intrínsecos y extrínsecos, estabilidad hemodinámica del paciente, entre otros. Por ello, conocer las propiedades fisicoquímicas de los materiales para el manejo de heridas contribuye a la selección adecuada del apósito para cada herida.

13. Referencias.

1. Obagi Z, Damiani G, Grada A, Falanga V. Principles of Wound Dressings: A Review. *Surg Technol Int.* 2019;35:50-57.
2. Guest JF, Fuller GW, Vowden P. Cohort study evaluating the burden of wounds to the UK's National Health Service in 2017/2018: update from 2012/2013. *BMJ Open.* 2020;10(12): e045253. Published 2020 Dec 22. doi:10.1136/bmjopen-2020-045253.
3. Nuutila K, Eriksson E. Moist Wound Healing with Commonly Available Dressings. *Adv Wound Care (New Rochelle).* 2021;10(12):685-698. doi:10.1089/wound.2020.1232.
4. Martínez-Correa, E.; Osorio-Delgado, M. A.; Henao-Tamayo, I. J. Y Castro-Herazo, C. I. Clasificación Sistemática de Apósitos: Una Revisión Bibliográfica. *Rev. Mex. Ing. Bioméd.* 2020;41 (10):5-28. doi.org/10.17488/rmib.41.1.1
5. Nuutila K, Singh M, Kruse C, Eriksson E. Wound Healing from Dermal Grafts Containing CD34+ Cells Is Comparable to Wound Healing with Split-Thickness Skin Micrografts. *Plast Reconstr Surg.* 2017;140(2):306-314. doi:10.1097/PRS.0000000000003516
6. Rezvani Ghomi E, Khalili S, Nouri Khorasani S, Esmaeely Neisiany R, Ramakrishna S. Apósitos para heridas: avances actuales y direcciones futuras. *Revista de ciencia aplicada de los polímeros .* 2019;136(27):n/an/a. doi:10.1002/app.47738.
7. Qian Y, Shen Y, Deng S, et al. Perlas de resina modificadas con polímeros de péptido β de doble función para la destrucción de bacterias y la adsorción de endotoxinas. *BMC Mater .* 2019;1(1). doi:10.1186/s42833-019-0005-3.
8. Bhojar SD, Malhotra K, Madke B. Dressing Materials: A Comprehensive Review. *J Cutan Aesthet Surg.* 2023;16(2):81-89. doi:10.4103/JCAS.JCAS_163_22.

9. De Gestión DG, Financiera E, Servicio F, et al. Subdirección General de Farmacia y Productos Sanitarios. Gneaupp.info. Consultado octubre 27, 2023. <https://gneaupp.info/wp-content/uploads/2023/02/recomendaciones-apositos-tto-local-ucc-abril2022.pdf>.
10. Jiao W, Chen W, Mei Y, et al. Effects of Molecular Weight and Guluronic Acid/Mannuronic Acid Ratio on the Rheological Behavior and Stabilizing Property of Sodium Alginate. *Molecules*. 2019;24(23):4374. Published 2019 Nov 29. doi:10.3390/molecules24234374.
11. Deutsch CJ, Edwards DM, Myers S. Wound dressings. *Br J Hosp Med (Lond)*. 2017;78(7):C103-C109. doi:10.12968/hmed.2017.78.7.C103.
12. Wang J, Yang B, Zhang XH, Liu SH, Wu W. The effectiveness of silver-containing hydrofiber dressing compared with topical silver sulfadiazine cream in pediatric patients with deep partial-thickness burns: a retrospective review. *Wound Manag Prev*. 2022;68(3):29-36. doi:10.25270/wmp.2022.3.2936.
13. Boston Medical Devices. Ficha técnica apósito hydrofiber ® con plata y fibra de refuerzo Aquacel TM Ag extra. Colombia LTDA. 2020. Disponible en: <https://syd.com.co/wp-content/uploads/2020/07/4888-FT-Aquacel-Ag-Extra-Ver-CONVATEC.pdf>.
14. Furtado Katia, Vincent Siaw-Sakyi, Bowler Philip. Made Easy. Tecnología más que plata TM. *Wounds International*. Julio 2019. Disponible en: <https://marketingworld.convatec.com/marketingzone/mzlookup/sourcefile?applicationToken=dc038e44b0b0ee4d8616f7b6880b24551bfecf237645a04fb5b76ab792a36858&contentLanguageId=es-ES&itemId=9adbf766-3b1e-458b-b6b3-1836d35ae208>.
15. Orlov A, Lustig A, Grigatti A, Gefen A. Fluid Handling Dynamics and Durability of Silver-Containing Gelling Fiber Dressings Tested in a Robotic Wound System. *Adv Skin Wound Care*. 2022;35(6):326-334. doi:10.1097/01.ASW.0000823972.16446.ff

16. Lustig A, Alves P, Call E, Santamaria N, Gefen A. The sorptivity and durability of gelling fibre dressings tested in a simulated sacral pressure ulcer system. *Int Wound J.* 2021;18(2):194-208. doi:10.1111/iwj.13515
17. Kate Meredith, Nicola Burke, Helen Brownley, et al. CONVATEC. Eficacia antimicrobiana de un apósito anti biofilm y apósitos que contienen plata en un modelo maduro de biofilm in vitro. Poster presentado en EWMA 2018. Disponible en: <https://marketingworld.convatec.com/marketingzone/mzlookup/sourcefile?applicationToken=dc038e44b0b0ee4d8616f7b6880b24551bfecf237645a04fb5b76ab792a36858&contentLanguageId=es-ES&itemId=c3adeff0-da60-4836-96df-12391901ee9e>.
18. Apósito de fibras de polivinilo de alcohol para el tratamiento de heridas cavitadas y con exudado alto. Molnlycke.lat. Consultado octubre 28, 2023. <https://www.molnlycke.lat/productos-soluciones/exufiber/>.
19. Joergensen B, Blaise S, Svensson AS. A randomised, open-label, parallel-group, multicentre, comparative study to compare the efficacy and safety of Exufiber® with Aquacel® Extra™ dressings in exuding venous and mixed aetiology leg ulcers. *Int Wound J.* 2022;19 Suppl 1(Suppl 1):22-38. doi:10.1111/iwj.13913.
20. Zeng R, Lin C, Lin Z, et al. Approaches to cutaneous wound healing: basics and future directions. *Cell Tissue Res.* 2018;374(2):217-232. doi:10.1007/s00441-018-2830-1.
21. Forni C, Gazineo D, Allegrini E, et al. Effectiveness of a multi-layer silicone-adhesive polyurethane foam dressing as prevention for sacral pressure ulcers in at-risk in-patients: Randomized controlled trial. *Int J Nurs Stud.* 2022;127:104172. doi:10.1016/j.ijnurstu.2022.104172.
22. Beeckman D, Fourie A, Raepsaet C, et al. Silicone adhesive multilayer foam dressings as adjuvant prophylactic therapy to prevent hospital-acquired pressure ulcers:

a pragmatic noncommercial multicentre randomized open-label parallel-group medical device trial. *Br J Dermatol.* 2021;185(1):52-61. doi:10.1111/bjd.19689.

23. Lechner A, Rancan F, Hadam S, Vogt A, Blume-Peytavi U, Kottner J. Comparing the effects of three different multilayer dressings for pressure ulcer prevention on sacral skin after prolonged loading: An exploratory crossover trial. *Wound Repair Regen.* 2021;29(2):270-279. doi:10.1111/wrr.12883.

24. Hernandez JL, Woodrow KA. Medical Applications of Porous Biomaterials: Features of Porosity and Tissue-Specific Implications for Biocompatibility. *Adv Healthc Mater.* 2022;11(9):e2102087. doi:10.1002/adhm.202102087.

25. Sarna-Boś K, Skic K, Sobieszcański J, Boguta P, Chałas R. Contemporary Approach to the Porosity of Dental Materials and Methods of Its Measurement. *Int J Mol Sci.* 2021;22(16):8903. Published 2021 Aug 18. doi:10.3390/ijms22168903.

26. Béjar Pulido, Silvia Janeth, et al. "Curvas de retención de humedad y modelos de pedotransferencia en Andosol bajo diferentes usos del suelo". *Revista mexicana de ciencias forestales* 11.59 (2020): 31-50.

27. Lin N, Zuo B. Silk sericin/fibroin electrospinning dressings: a method for preparing a dressing material with high moisture vapor transmission rate. *J Biomater Sci Polym Ed.* 2021;32(15):1983-1997. doi:10.1080/09205063.2021.1952383

28. Xu R, Xia H, He W, et al. Controlled water vapor transmission rate promotes wound-healing via wound re-epithelialization and contraction enhancement. *Sci Rep.* 2016;6:24596. Published 2016 Apr 18. doi:10.1038/srep24596.

29. Prabu D, Majdalawieh AF, Abu-Yousef IA, et al. Preparation and characterization of gatifloxacin-loaded sodium alginate hydrogel membranes supplemented with hydroxypropyl methylcellulose and hydroxypropyl cellulose polymers for wound dressing. *Int J Pharm Investig.* 2016;(2):86-95.