

# Comparación entre el manejo de líquidos y las condiciones microclimáticas por debajo de los vendajes de polímeros superabsorbentes y de espuma superabsorbente en una herida artificial

## RESUMEN

**Introducción** Se comparan los vendajes de polímeros superabsorbentes (SAP) y de espuma superabsorbente (SAF) respecto de su capacidad de absorber el exudado de humedad de una herida artificial y de afectar el microclima por debajo del vendaje midiendo: la cantidad de humedad absorbida; la cantidad de humedad evaporada a través de la capa externa; la humedad, tanto por debajo como por fuera del vendaje y la diferencia entre ambas; y la temperatura, tanto por debajo como por fuera del vendaje y la diferencia entre ambas.

**Método** Se utilizó un indentador termodinámico en un entorno de laboratorio con el fin de proporcionar un flujo constante de vapor de humedad en toda la superficie de la herida estándar para cada vendaje bajo el peso del indentador. Los sensores registraron la humedad y la temperatura por dentro y por fuera de cada vendaje durante 3 horas y 16 minutos con un porcentaje de reducción completo de 45 segundos del vendaje al punto de las 3 horas para simular el cambio de peso del paciente. Al finalizar la prueba se ponderaron los vendajes para determinar la humedad absorbida y la humedad evaporada.

**Resultados** No hubo diferencias importantes entre los grupos de vendajes de SAF y de SAP en cuanto a la absorción o a la evaporación de la humedad ni tampoco con respecto a la humedad y temperatura por dentro o por fuera de los vendajes.

**Conclusión** Por consiguiente, se puede determinar que los vendajes de SAF y de SAP parecen ser igualmente adecuados para mantener el microclima de humedad y calor en el lecho de la herida. Se debe destacar que estos vendajes no secan el lecho de la herida del modo que implica el término superabsorbente.

**Palabras clave** Exudado, microclima, herida, superabsorbente, vendaje

**Para referencia** Call E. y cols. Comparación entre el manejo de líquidos y las condiciones microclimáticas por debajo de los vendajes de polímeros superabsorbentes y de espuma superabsorbente en una herida artificial. WCET® Journal 2019; 39(4):11–23

**DOI** <https://doi.org/10.33235/wcet.39.4.11-23>

## Evan Call

MS, CSM (NRM)

Departamento de Microbiología, Facultad de Ciencia, Universidad Estatal Weber, Ogden, UT, EE. UU.

## Craig Oberg

PhD

Departamento de Microbiología, Facultad de Ciencia, Universidad Estatal Weber, Ogden, UT, EE. UU.

## Iris Streit

Gerenta Sénior, Gerencia de mercadeo de producto avanzado para heridas a nivel global, HARTMANN GROUP, Heidenheim, Alemania

## Laurie M Rapp\*

PT, DPT, CWS

Rappl & Associates, Simpsonville, SC, EE. UU.  
Correo electrónico [Lrapp1630@gmail.com](mailto:Lrapp1630@gmail.com)

\* Autor de la evaluación

## INTRODUCCIÓN

Se seleccionan los vendajes de las heridas para controlar la humedad durante la cicatrización de la herida debido a tres motivos: absorber el exudado; mantener un microclima adecuado en el lecho de la herida; y proteger la periferia de la herida para protegerla del daño causado por la maceración debida al exceso de humedad. Las categorías generales de tecnologías de absorción son espumas, hidrocoloides, alginatos de calcio, hidrofibras y polímeros de retención de humedad<sup>1,2</sup>. Se alega que los vendajes de polímeros superabsorbentes (SAP) y de espuma superabsorbente (SAF) más complejos que han sido desarrollados de manera reciente son mejores que los vendajes anteriores con respecto al control de la humedad de la herida; sin embargo, estos últimos no se han evaluado comparándolos con los de SAP y de SAF. Además, el término superabsorbente plantea preguntas en cuanto a la posibilidad de sobreabsorción y, por consiguiente, del secado del lecho de la herida y de la inhibición de la cicatrización de la herida.

## Control del exudado

Desde que Winters publicó su trabajo de gran trascendencia en 1963, la cicatrización húmeda de la herida se ha aceptado como

una mejor práctica<sup>2,3</sup>. Las citocinas y otros factores de crecimiento necesitan humedad para esparcirse en todo el lecho de la herida para estimular la cicatrización mediante el cierre de la herida y la reepitelización<sup>4</sup>. Mantener el nivel de humedad adecuado en el lecho de una herida evita la desecación, hecho que les permite a las células epiteliales migrar libremente por toda la superficie de la herida. La mayoría de las heridas húmedas granulan, se epitelizan y cicatrizan dos o tres veces más rápido que las heridas secas<sup>5</sup>.

El exudado se produce de manera natural como parte del proceso de cicatrización de la herida y mantiene húmedo el lecho de la herida para estimular el cierre en la mayoría de las heridas. Algunos tipos de heridas naturalmente exudan más que otras, específicamente, las heridas venosas, las úlceras grandes por presión y las quemaduras. Las heridas crónicas son altamente exudativas debido a un estado constante de inflamación y de interrupción de la actividad celular normal. El exudado crónico de las heridas difiere marcadamente del exudado agudo de la herida que consiste en altos niveles de enzimas degradantes de proteínas, metaloproteasas de la matriz (MPM), neutrófilos y citocinas proinflamatorias. Por consiguiente, las heridas exudativas necesitan vendajes absorbentes cuya capacidad de absorción coincida con el flujo de exudados para mantener un nivel de humedad óptimo en el lecho de la herida. A medida que estas heridas comienzan a granular, el exudado disminuye y la necesidad de vendajes cambia de absorción a protección como característica primaria<sup>2</sup>.

La cantidad de exudado o humedad proveniente de una herida está normalmente documentada en la historia clínica de un paciente con descriptores subjetivos como leve, moderado, grave y excesivo en vez de con mediciones objetivas. Se han propuesto diferentes escalas validadas para documentar la cantidad del exudado, entre las que se incluyen la Herramienta de valoración de heridas de Bates-Jensen y la herramienta de escala de úlceras por presión para cicatrización (PUSH, por sus siglas en inglés). Cada escala brinda un descriptor para cada nivel de dicha escala. Se puede encontrar un resumen y una comparación de las herramientas disponibles y sus descriptores en *Wound exudate: effective assessment and management*, un documento consensado sobre el exudado publicado por la World Union of Wound Healing Societies en 2019<sup>5</sup>.

### Microclima de la herida

Se ha identificado al microclima como un factor clave tanto en la prevención de las heridas como en la cicatrización. El microclima es la combinación de temperatura y humedad, y algunas veces de flujo de aire, en una región localizada en comparación con el ambiente o el área que la rodea<sup>6</sup>. Un entorno con humedad cálida propicia la cicatrización de la herida. Dini y cols.<sup>7</sup> demuestran que la cicatrización de la herida es deficiente a <33 °C debido a una disminución de la actividad de neutrófilos, fibroblastos y células epiteliales. Este mismo estudio muestra una correlación entre las mejorías del lecho de la herida y las temperaturas del lecho de la herida entre 33–35 °C. Además, Salvo y cols.<sup>8</sup> demuestran en dos estudios que esas temperaturas en un rango de 36–38 °C aparentemente fomentan la cicatrización de la herida.

Sin embargo, los vendajes resisten la fuga de humedad y aumentan los niveles de humedad y calor por debajo de ellos. Los vendajes de absorción avanzada pueden, por consiguiente, afectar el microclima del lecho de la herida al absorber una cantidad de humedad excesiva de la superficie de la herida y mantener el calor y la humedad a la vez que disipan el exceso de calor y humedad

a través de la capa externa permeable al vapor. Los vendajes oclusivos no tienen estas funciones.

### Piel de la periferia de la herida

La humedad excesiva en la piel intacta de la periferia de la herida debilita la dermis y la epidermis interrumpiendo la organización de los lípidos en el estrato córneo (EC) y los vínculos entre las células epidérmicas<sup>1</sup>. El aumento resultante en la permeabilidad hace que la periferia de la herida sea más susceptible a la invasión de contaminantes y al efecto combinado de la fricción y los cortes. El término daño de la piel asociado con la humedad (MASD, por sus siglas en inglés) se refiere globalmente a las lesiones epidérmicas resultantes de la exposición de la piel a la humedad (por ejemplo, por transpiración) e irritantes (por ejemplo, orina, heces, efluentes de ostomía, exudado de la herida)<sup>1</sup>. Una de las cuatro categorías clínicas del MASD es el daño de la piel en la periferia de la herida. Al sumarse los efectos debilitantes combinados de la adherencia de humedad, las enzimas en el exudado de la herida, que normalmente degradan los contaminantes en la herida, también degradan las proteínas en la piel intacta. El daño resultante puede provocar dolor, un aumento en el tamaño de la herida y la disminución de la migración de los queratocitos de los bordes de las heridas, por consiguiente, afecta el cierre de la herida<sup>9</sup>. Como tal, los médicos deberían elegir los vendajes que evitan que el exudado entre en contacto con la periferia de la herida mediante el bloqueo del exudado absorbido. Lo ideal es ajustar el tamaño del apósito de absorción de un vendaje al tamaño del lecho de la herida abierta en vez de prolongarlo hasta la periferia de la herida.

### Fabricación de vendajes

Los vendajes son un método primario dinámico para la pérdida de humedad persistente del lecho de una herida seca o para la absorción de la humedad excesiva del lecho de la herida húmeda a la vez que se mantiene la periferia de la herida sin humedad excesiva.

Los vendajes básicos tales como apósitos hechos de gasa de algodón o absorbentes hechos de fibras de celulosa o espumas cubren el lecho de la herida y lo protegen de un trauma y del medioambiente, a la vez que sencillamente absorben la humedad. Los vendajes en isla incluyen un borde adherente alrededor del área absorbente. Los vendajes con mayor capacidad y mejores características se utilizan para tratar heridas altamente exudativas que pueden empapar los vendajes básicos.

Los vendajes SAP están compuestos por múltiples capas a fin de adaptarse a las heridas altamente exudativas tanto por absorción como por evaporación de la humedad de la herida. El centro superabsorbente es a menudo una combinación de polímeros de celulosa y de polímeros hidrofílicos envueltos en tisú de celulosa o en un material no tejido. La mayoría de los vendajes SAP tienen una capa externa de poliuretano permeable al vapor y de baja fricción que permite transpirar la humedad; por consiguiente, absorbe más exudado de la herida y permite un mayor tiempo de uso. El poliuretano con un índice de transmisión del vapor de la humedad mayor de 35g/m<sup>2</sup>/h se correlaciona con una cicatrización de la herida más rápida realizada con vendajes oclusivos<sup>10</sup>. La suma del líquido absorbido en el vendaje y del líquido transpirado a través del vendaje se llama capacidad de control del fluido de un vendaje, según lo define el Comité Europeo de Normalización<sup>11</sup>.

Algunos vendajes de SAP tienen adhesivo acrílico en el borde alrededor de la isla absorbente de modo que no es necesario usar más cinta u otro tipo de fijación para dicho vendaje. Algunos de

Cuadro 1. Tamaño y construcción de vendajes de prueba representativos.

	Adhesivo	Cobertura del adhesivo	Película de soporte	Capa de espuma	Material absorbente: espuma o no tejido	Dimensiones del borde externo (cm)	Dimensiones del apósito absorbente (cm) y (área total en cm <sup>2</sup> )
<b>Vendajes de SAF</b>							
Mepilex® Border (Mölnlycke Healthcare, Gothenburg, Suecia)	Silicona	Perforado, abierto al 20 % sobre toda la superficie	Poliuretano	Sí	Celulosa y polímero de retención	15 x 15	11 x 11 (121)
ALLEVYN Life (Smith and Nephew plc, Hertfordshire, RU)	Silicona	Perforado, abierto al 20 % sobre toda la superficie	Poliuretano	Sí	Núcleo hiperabsorbente seguro	12,9 x 12,9	7,6 x 7,6 (57,8)
Biatain® Silicone (Coloplast Corporate, Humlebæk, Dinamarca)	Silicona	Perforado, abierto al 20 % sobre toda la superficie	Poliuretano	Sí	Capa segura	12,5 x 12,5	8,5 x 8,5 (72,2)
<b>Vendajes de SAP</b>							
Vliwasorb® Adhesive (L&R International, Rengsdorf, Alemania)	Poliacrilato	Borde solo	Tela de polipropileno no tejida	No	Poliuretano celulosa de polipropileno poliácrlato sódico	12 x 12	8,2 x 8,1 (66,4)
Cutimed® Sorbion® Sachet Border (BSN Medical, Hamburgo, Alemania)	Poliacrilato	Borde solo	Cobertura externa respirable de poliéster	No	Fibras de celulosa y polímero absorbente que forma un gel en capa de fibra	15 x 15	10 x 10 (100)
RespoSorb® Silicone (Hartmann AG, Heidenheim, Alemania)	Silicona	Malla de silicona que evita que se pegue	Vellón de polipropileno	No	Celulosa y poliácrlato superabsorbente	12,5 x 12,5	10,5 x 10,5 (110,25)
RespoSorb® Silicone Border (Hartmann AG, Heidenheim, Alemania)	Silicona	Malla de silicona que evita que se pegue	Vellón de polipropileno más soporte de poliuretano	No	Celulosa y poliácrlato superabsorbente	12,5 x 12,5	7 x 7 (49)
<b>Punto de referencia/control</b>							
Cosmopor® E Sterile (Hartmann AG, Heidenheim, Alemania)	Acrlato (capa de contacto de polietileno)	Borde solo	Poliéster no tejido	No	Viscosa (celulosa tratada)	15 x 8	11 x 3,8 (41,8)

estos vendajes también cuentan con una capa de silicona en toda la superficie de la herida del vendaje para minimizar el trauma del lecho de la herida. Véase el Cuadro 1 para una revisión de las similitudes y diferencias entre un grupo representativo de estos vendajes.

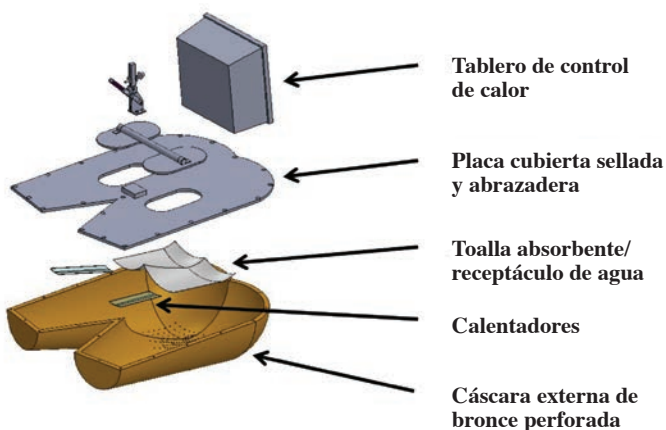
También se debe resaltar que el término superabsorbente puede implicar que un vendaje pueda extraer demasiada humedad de una herida y la seque, por consiguiente, contrarrestando la cicatrización de la herida húmeda. Un subgrupo de los vendajes de SAP –vendajes de SAF– está realizado de manera similar a los vendajes de SAP e incluyen una capa adicional de espuma entre la silicona y el polímero que se supone que evita que se seque el lecho de la herida y que optimice el microambiente del lecho de la herida (Cuadro 1). Además, quitar la presión de una herida y del vendaje a través de la maniobra de liberación de presión o mediante un cambio de posición del paciente puede afectar la evaporación de la humedad y la disipación del calor, y mejorar la función del vendaje, aumentando el tiempo de uso.

Hay pocos estudios publicados que comparan los efectos de diferentes vendajes, usados por pacientes, sobre tipos de heridas similares, y ninguno analiza las afirmaciones hechas por los fabricantes en referencia a los beneficios de sus productos que afectan el lecho de la herida o el microclima. La investigación clínica que compare los vendajes es muy difícil de lograr debido a las diversas variables que afectan la cicatrización de la herida y la tarea imposible de estandarizar a los pacientes. No obstante, una investigación de laboratorio bien diseñada puede estandarizar el tamaño de la herida y la cantidad de exudado, de modo que se puedan comparar los vendajes de prueba entre sí. Esta estandarización limita la aplicabilidad de los resultados a la población clínica altamente variable, pero puede proporcionar pruebas para dar una orientación con respecto a la eficacia de un vendaje al controlar las propiedades físicas de una herida para optimizar la cicatrización de la herida.

## OBJETIVO DEL ESTUDIO

Este estudio *in vitro* compara los vendajes en las categorías de vendajes SAF y SAP descritas en el Cuadro 1. Se incluyó un vendaje quirúrgico básico no polímero como control o punto de referencia.

Figura 1. Indentador termodinámico de carga rígida.



Se estudiaron los vendajes de acuerdo con su capacidad de absorber el exudado de la humedad de una herida artificial midiendo:

- La cantidad de humedad absorbida, informada como gramos totales por vendaje y  $g/cm^2$ .
- La cantidad de humedad evaporada a través de la capa externa, informada como gramos totales por vendaje y  $g/cm^2$ .
- Humedad, tanto dentro del lecho de la herida cubierta como en la capa externa y la diferencia entre ambas.
- Temperatura, tanto dentro del lecho de la herida cubierta como en la capa externa y la diferencia entre ambas.

Además, se midió el efecto de la liberación de una presión o del cambio de posición del paciente en cada uno de estos parámetros.

Es importante destacar que en el trabajo anterior se informó sencillamente como humedad por vendaje<sup>12</sup>. Para este estudio, estos valores se informan en gramos de humedad por  $cm^2$  debido a la gran variación del área de superficie y de la masa de los vendajes.

## MÉTODO

Este estudio fue realizado por un laboratorio independiente que contribuye a la elaboración de las normas para las superficies de apoyo, cojines para sillas de ruedas, vendajes y otros equipos médicos relacionados con las heridas. El laboratorio tenía una temperatura ambiente de  $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  y una humedad relativa del  $50\% \pm 5\%$ , según lo especificado en la norma ISO 554-1976(E)<sup>13</sup>.

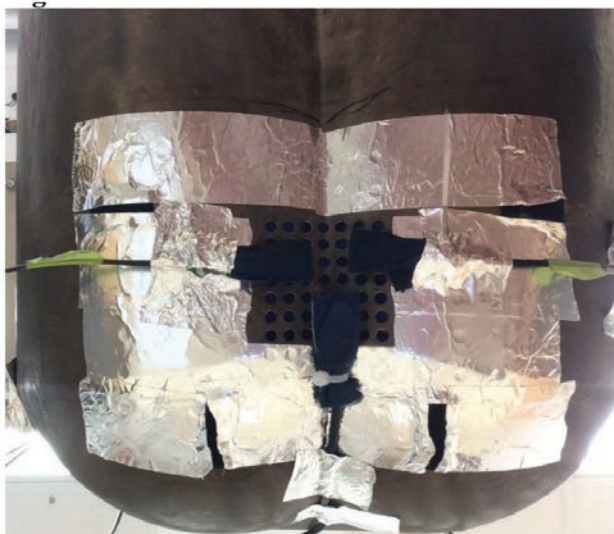
El modelo humano era un cojín rígido termodinámico de bronce que carga un indentador descrito primero por Ferguson-Pell y cols.<sup>14</sup> para ser utilizado en las pruebas de cojines para sillas de ruedas. El modelo fue desarrollado por un grupo de investigadores del Reino Unido, Japón y los Estados Unidos. Desde 2009, se ha convertido en una pieza estándar de los equipos de pruebas para estudiar las superficies de apoyo, los vendajes y los cojines para sillas de ruedas en el mercado internacional del cuidado de heridas<sup>15</sup> (Figura 1).

El indentador de prueba cumplía con las Normas Nacionales Estadounidenses para Superficies de Apoyo<sup>16</sup>. La forma del indentador es similar a las nalgas y a la parte superior de los muslos de un hombre de percentilo 50.0 y tiene orificios pretaladrados en el área del sacro y del ísqueo. El indentador se puede cargar con cantidades de agua, caliente o fría, medidas previamente y pesadas. La difusión del agua a través de los orificios pretaladrados simula la pérdida de humedad a través de la piel. Este indentador simula el calentamiento, el enfriamiento, la sudoración y el secado, el peso y la eliminación del peso del área sacra humana. Se miden las condiciones resultantes en la interfaz superficie-indentador y se pueden comparar entre productos, así como también en condiciones de estado estable y transitorio.

Para este estudio, se le colocó al indentador un peso de  $64\text{ lb} \pm 2,25\text{ lb}$  (justo por encima de  $29\text{ kg} \pm$  justo por encima de  $1\text{ kg}$ ) que es el peso de este segmento del cuerpo para un hombre de percentilo 50.0 que está en la cama en posición supina. Se generó una herida artificial cubriendo todos los orificios de los poros de sudoración que no estaban cubiertos por un apósito de vendaje; la cinta de aluminio aseguró que no se evaporara la humedad por el área de la herida artificial (Figura 2). Esto dejó un área de orificios



Figura 2. Indentador que muestra el área de 7x7 cm de orificios perforados cubiertos con cinta de aluminio.



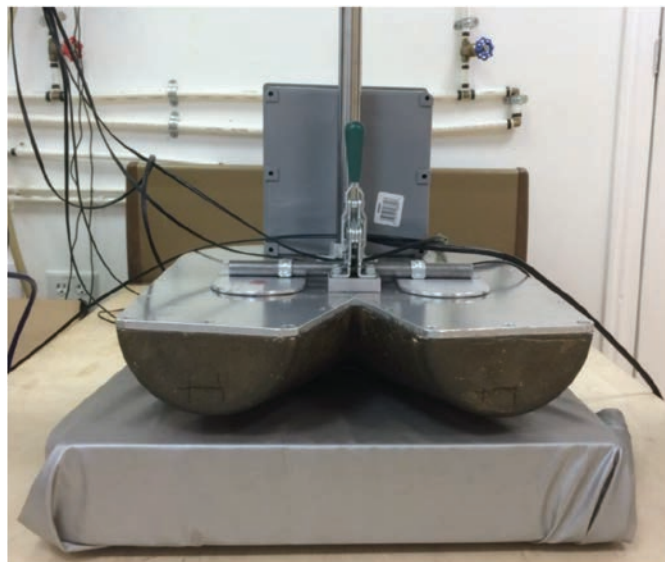
de 7x7 cm para el vapor de humedad; esto se utilizó para todos los vendajes probados.

Discutir los vendajes bajo estas condiciones brinda un escenario que es clínicamente pertinente porque las espumas y los polímeros se comprimen y se reduce la fuga del vapor de humedad por las condiciones de uso actual de la prueba<sup>14,15</sup>. Por ejemplo, los sensores de humedad y temperatura son sensores digitales de alta precisión fabricados por Sensirion AG (Staefa ZH, Suiza) que tienen una precisión de  $\pm 1,8\%$  a una humedad relativa de 0–80 % y  $\pm 0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  a 20–50  $^{\circ}\text{C}$ . La superficie de apoyo de la prueba era un cojín de espuma de celdas abiertas de 3x18x18" (7,6x45,7x45,7 cm) cubierto con un colchón de agua, respirable, resistente a la humedad fabricado por Dartex Coating US (Slaterville, RI) y colocado sobre una tabla rígida para el colchón.

Se humectó y humidificó por medio de una cantidad pesada de agua destilada embebida en toallas refrigerantes de microfibra Enduracool™. Se eligió esta toalla debido a que la microfibra es una tecnología termoreguladora con un índice de liberación de humedad compatible con los estudios anteriores publicados en las superficies de apoyo LAL<sup>17,18</sup>. En un entorno de laboratorio, el exudado de la herida está representado por el agua destilada. Si bien las propiedades de cada líquido difieren notoriamente, el estudio está diseñado para demostrar las diferencias de rendimiento, y esto se puede lograr con un fluido estándar. Las publicaciones anteriores que caracterizan la capacidad de controlar la humedad de los vendajes utilizando este método brindan una referencia comparativa<sup>12</sup>.

El modelo de herida utilizado aquí no es un modelo altamente exudativo; es un modelo del vapor de agua. Este modelo ingresa un bajo nivel de humedad a la superficie del vendaje durante un período y de manera controlada de modo que un investigador puede determinar si la humedad está vinculada al vendaje o transpira a través del mismo. Se eligieron los vendajes de prueba a partir de vendajes multicapas utilizados comúnmente y adquiridos de manera conveniente en la Unión Europea y en los Estados Unidos. Los vendajes representativos están enumerados en el Cuadro 1.

Figura 3. Indentador colocado sobre un cojín.



El indentador fue suspendido sobre el cojín por medio de un marco H que se colocó alrededor del bastidor de la cama aproximadamente en el medio de dicho bastidor. El cojín fue centrado debajo del indentador de modo que el área de tuberosidad ísquia del indentador quedó ubicada a 10–15 cm del borde posterior del cojín (Figura 3). El indentador fue configurado a 37  $^{\circ}\text{C}$ . Se registraron los pesos de dos juegos secos de toallas Enduracool™, después se agregó 100 $\pm$ 1 g de agua destilada a cada juego de toallas proporcionando un potencial de ingreso de 200 g para el vendaje. Cada toalla se plegó en tres partes y se colocó dentro del indentador de modo que las toallas cubrieran todos los orificios de los poros de sudoración. Se colocaron pesos calientes encima de las toallas para facilitar el ingreso de la humedad.

Se colocaron tres sensores para medir el escape de humedad del área de la herida artificial (Figura 4). Se modificaron las ubicaciones de los sensores para adaptarlas al tamaño de cada vendaje. Se

Figura 4. Colocación del vendaje y de los sensores sobre el vendaje.



centró el vendaje sobre los orificios de los poros de sudoración abiertos y se cubrieron los tres sensores. Se colocaron los sensores que estaban por fuera del vendaje y se los alineó con los que estaban por debajo del vendaje (Figura 4). Se bajó el indentador para que se asiente sobre la superficie de apoyo y se transfirió la carga total de 64 lb  $\pm$  2,25 lb (justo por encima de 29 kg  $\pm$  justo por encima de 1 kg) a la superficie de apoyo. Se utilizó un séptimo sensor para medir la temperatura ambiente y la humedad. Se programó un EK-H4 Viewer para que registre los datos a intervalos de 30 segundos a través de un período de prueba.

Para simular una liberación de presión o el cambio de posición del paciente, se levantó el indentador de la superficie de apoyo durante 45 segundos a las 3 horas  $\pm$  6 minutos. Se realizaron lecturas cinco minutos antes de levantarlo, identificadas como 175 minutos en la sección de resultados, para lograr una cámara de aire entre el indentador y la superficie de apoyo. Se sostuvo completamente suspendido sobre la superficie de apoyo durante un total de 45 segundos  $\pm$  10 segundos, después se lo bajó nuevamente a la superficie de apoyo totalmente cargado por otros 15 minutos  $\pm$  1 minuto. En los resultados se informaron las lecturas finales como 196 minutos.

Al final de la prueba se levantó el indentador, se quitaron las toallas y se pesaron. Se quitó el vendaje del indentador y de la herida artificial, y se registró el peso. Se registró el peso de una toalla de papel seca, la toalla se utilizó para secar toda la humedad restante en el indentador y se pesó la toalla nuevamente.

Entre cada prueba, el indentador volvió a su estado estable antes de iniciar la siguiente prueba. Se agregó agua destilada para que las toallas y la masa de agua volvieran al peso total de las toallas secas además de 200 $\pm$ 1 g de agua destilada. Se utilizaron dos cojines y dos cobertores; estos se intercambiaron entre pruebas para permitir una recuperación total. Se realizó un total de tres pruebas para cada vendaje. También se realizaron tres pruebas con el indentador colgando en el aire durante 3 horas y 16 minutos sin que se aplicara un vendaje para medir la salida del vapor de humedad de la herida artificial.

El peso final de las toallas además de la toalla de papel se restó del peso inicial de las toallas para asegurar que la cantidad total de agua destilada haya ingresado al sistema. La humedad absorbida por el apósito del vendaje fue calculada restando el peso inicial del vendaje del peso final del vendaje. La cantidad de vapor de agua producida a partir del sistema se calculó restando el peso inicial de las toallas del peso final de las toallas y agregando la humedad recuperada del interior del indentador utilizando una toalla de papel. La cantidad de humedad que evaporó el vendaje se calculó restando la cantidad de humedad atrapada en los vendajes de la cantidad de vapor de agua producida por el sistema. Se calculó el IC de un 95 %.

Si bien el tamaño de la herida artificial fue constante durante todo el estudio, los apósitos absorbentes de los vendajes variaron de 41,8 cm<sup>2</sup> a 121 cm<sup>2</sup> (Cuadro 1). De este modo se calculó la humedad total absorbida y evaporada por cada vendaje. Se hicieron cálculos de la humedad absorbida y de la humedad evaporada en base a cm<sup>2</sup>, así como también para dar cuenta de la variabilidad de los tamaños del vendaje y para comparar con más precisión el rendimiento del vendaje. Se calculó la diferencia promedio de temperatura y humedad entre la parte externa o superficie del cojín del vendaje y la parte interior o el lado del paciente del vendaje a los 175 minutos y durante la duración total de la prueba haciendo un promedio de la diferencia entre el valor

sobre el vendaje y el valor por debajo del vendaje para cada punto de datos.

## RESULTADOS

El estudio tuvo cuatro objetivos, concretamente medir: la cantidad de humedad absorbida; la cantidad de humedad evaporada a través de la capa externa; la humedad, tanto por debajo como por fuera del vendaje y la diferencia entre ambas; y la temperatura, tanto por debajo como por fuera del vendaje y la diferencia entre ambas.

La cantidad de humedad que absorbió cada vendaje se indica en el Cuadro 2. Esto indica la humedad total y la humedad absorbida en g/cm<sup>2</sup> por vendaje, así como también indica el promedio. El rango del grupo del vendaje de SAF fue de 0,22–0,34 g. El rango del grupo del vendaje de SAP fue de 0,24–0,39 g si no se tiene en cuenta la capa externa de 0,56 g. El vendaje de referencia fue el más pequeño del área y, por gran diferencia, el que menos absorbió. El rango para seis de los siete vendajes del estudio fue de 0,22–0,39 g.

La cantidad de humedad evaporada (transpirada o evaporada) a través de la capa de poliuretano externa también se indica en el Cuadro 2 y en la Figura 5. El rango del grupo de vendaje de SAF fue de 3,9–5,4 g, una diferencia de 1,5 g, mientras que el rango del grupo de vendaje de SAP fue de 3,4–4,1 g, una diferencia de solo 0,7 g. Por cierto, seis de los siete vendajes del estudio estuvieron dentro de los 0,7 g entre ellos (rango 3,4–4,1 g). No hubo una diferencia significativa entre los vendajes a un IC de un 95 %.

En el Cuadro 2, se debe tener en cuenta que el total de humedad proporcionado por el indentador fue de 5,9 g. Al agregar la humedad absorbida y la humedad evaporada en conjunto se demuestra que ninguno de los vendajes eliminó toda la humedad.

La Figura 5 grafica la cantidad total de humedad absorbida y humedad evaporada en g/cm<sup>2</sup> para cada vendaje. Las Figuras 6a y 6b grafican la humedad absorbida y la humedad evaporada por cm<sup>2</sup> organizado por orden de tamaño del apósito absorbente, desde el más pequeño hasta el más grande. A medida que el tamaño del vendaje aumentaba, la cantidad de humedad absorbida y la que escapaba por cm<sup>2</sup> parece disminuir, lo que hace presumir que el rendimiento de los apósitos más grandes es más deficiente. Sin embargo, los vendajes más grandes tienen mayor área disponible para absorber y evaporar la humedad, y este gráfico no está estandarizado ni para la herida ni para el tamaño del vendaje.

La Figura 7 grafica la humedad evaporada por cm<sup>2</sup> por área de la herida. Esto implica que los vendajes se comparan utilizando tanto un tamaño de herida estándar –el área de orificios expuestos en el indentador– como una cantidad de vapor estándar en un área estándar. Al compararlo de este modo, todos los vendajes controlan aproximadamente la misma cantidad de humedad de acuerdo con su área absorbente.

También se registró la humedad, tanto por debajo como por fuera del vendaje, así como también la diferencia entre ambas. El Cuadro 3 muestra el porcentaje promedio de la humedad relativa a los 175 minutos (antes de liberar la presión) y a los 196 minutos (después de que se hubiera aplicado presión durante 15 minutos, al finalizar la prueba), por fuera y por dentro de los vendajes, y la diferencia entre los vendajes por dentro y por fuera, por vendaje y por grupo. A los 175 minutos todas las lecturas de humedad por fuera de los vendajes estaban por sobre las de la temperatura ambiente

Cuadro 2. Humedad absorbida en un apósito de absorción y humedad evaporada por vendaje en g y g/cm<sup>2</sup> totales y promedios de SAF y de SAP.

	Absorbida		Evaporada		Total (g)
	Vendaje entero (g)	g/cm <sup>2</sup>	Vendaje entero (g)	g/cm <sup>2</sup>	
<b>Vendajes de SAF</b>					
Mepilex® Border	0,22	0,0018	4,0	0,0332	4,23
ALLEVYN Life	0,29	0,0050	5,4	0,0926	5,64
Biatain® Silicone	0,34	0,0047	3,9	0,0537	4,22
<b>SAF promedio</b>	<b>0,28</b>	<b>0,0038</b>	<b>4,4</b>	<b>0,0598</b>	<b>4,70</b>
<b>Vendajes de SAP</b>					
Vliwasorb® Adhesive	0,39	0,0058	3,7	0,0562	4,12
Cutimed® Sorbion® Sachet Border	0,56	0,0056	4,1	0,0410	4,66
RespoSorb® Silicone	0,31	0,0028	3,4	0,0307	3,70
RespoSorb® Silicone Border	0,24	0,0048	3,4	0,0697	3,64
<b>SAP promedio</b>	<b>0,37</b>	<b>0,0048</b>	<b>3,7</b>	<b>0,0495</b>	<b>4,10</b>
<b>Punto de referencia/control</b>					
Cosmopor® E Sterile	0,04	0,0009	4,3	0,1027	4,30

(50 %), que indicaba la transpiración activa en todos los soportes de poliuretano. El grupo de vendaje de SAF tuvo un promedio mayor de humedad, tanto por dentro como por fuera del vendaje que el grupo de vendaje de SAP, pero la diferencia entre los vendajes por dentro y por fuera de ambos grupos fue similar, 11,4 y 12,2 %, respectivamente. El vendaje de referencia tuvo una humedad mucho mayor tanto por dentro como por fuera del vendaje, con una diferencia de solo 3,8 % (Cuadro 3 y Figura 8). A los 196 minutos, el grupo de vendaje de SAF tuvo un promedio mayor de humedad, tanto por dentro como por fuera del vendaje que el grupo de vendaje de SAP, pero la diferencia entre los vendajes por dentro y por fuera fue mayor en el grupo de vendaje de SAF. El vendaje de referencia tuvo una pequeña diferencia entre el vendaje por dentro y por fuera (Cuadro 3). Al mirar las barras de error en la Figura 8, no hubo diferencias importantes entre los vendajes en el IC de 95 %.

También se registró la temperatura, tanto por debajo como por fuera del vendaje, así como también la diferencia entre ambas. A los 175 minutos, las temperaturas promedio del grupo de vendaje de SAF, el grupo de vendaje de SAP y el vendaje de referencia estuvieron dentro del 0,9 °C. Los grupos de vendaje de SAF y de SAP tuvieron diferencias más amplias de temperatura por dentro y por fuera de los vendajes que el vendaje de referencia (Cuadro 4 y Figura 9). A los 196 minutos, las temperaturas promedio de los vendajes de SAF y de SAP, tanto por dentro como por fuera de los vendajes, estuvieron dentro de 0,2 °C de cada una. El vendaje de referencia estuvo ligeramente por debajo de ambos grupos (Cuadro 4 y Figura 10). El rango de temperaturas por dentro y por fuera de los vendajes a los 196 minutos fue de 33,1–34,3 °C. El rango de la diferencia de temperatura por dentro y por fuera de los vendajes fue de 0,4–0,8 °C. El control negativo tuvo una diferencia de temperatura de solo 0,2 °C. No hubo diferencias importantes entre los vendajes en el IC de 95 %.

## DISCUSIÓN

El presente estudio mide el rendimiento relativo de los vendajes en un entorno de laboratorio comparando resultados en puntos de tiempo específicos y promediados en el tiempo. Si bien el período de prueba de más de 3 horas es un segmento de tiempo pequeño en comparación con la cantidad de tiempo que un paciente normalmente utiliza estos tipos de vendajes, la prueba da un indicio de cómo puede ser el rendimiento relativo con respecto a otros en periodos más largos.

Este método probó la manera en que los vendajes controlan la humedad a partir de un bajo exudado de vapor constante. Cuando el tegumento en una herida de estadio 2, 3 o 4 está comprometido, la regulación de la fuga del vapor de humedad también está comprometida, lo que se suma a la humedad que debe controlar un vendaje. El vapor total puede comprometer el tegumento y, por consiguiente, esto también debe tenerse en cuenta al evaluar los vendajes<sup>6,19</sup>.

Como se esperaba, los vendajes de SAF y de SAP más avanzados tuvieron mejor rendimiento que el vendaje en isla básico del punto de referencia/control en la mayoría de las categorías.

### Humedad absorbida y humedad evaporada

Tanto los grupos de vendajes de SAF como los de SAP absorbieron de manera significativa más humedad en el apósito que el vendaje de referencia, lo que indica que sus materiales de polímero absorben y atrapan la humedad, y evitan que migren a la periferia de la herida o al lecho de la herida. Seis de los siete vendajes avanzados absorbieron entre un 0,24–0,39 g, y una capa externa absorbió un 0,56 g. Se espera que los vendajes absorban lo suficiente como para evitar la maceración del lecho de la herida, pero no tanto como para secarla. A fin de secar una herida,



Figura 5. Humedad absorbida y humedad evaporada por  $\text{cm}^2$ , juntas, que muestran un IC de 95 %.

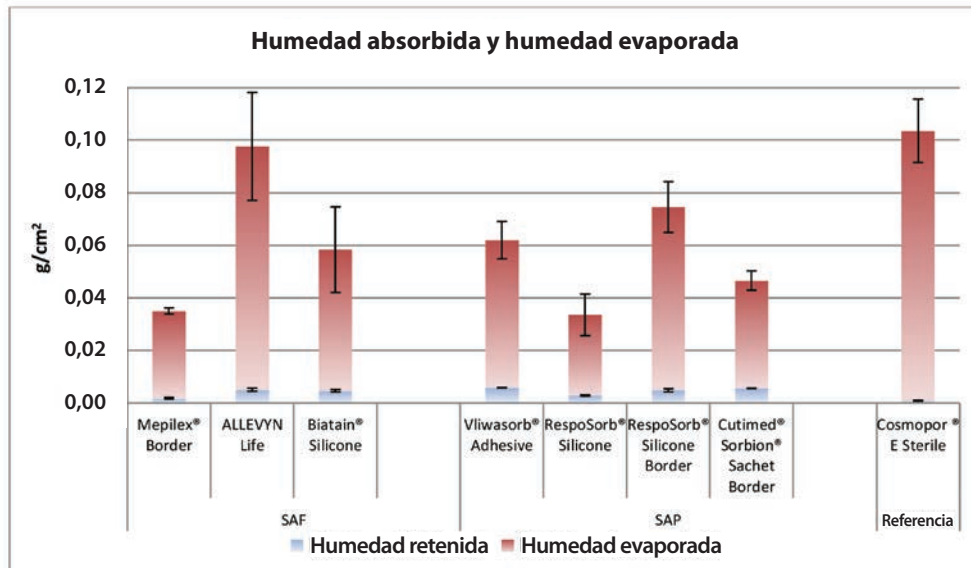
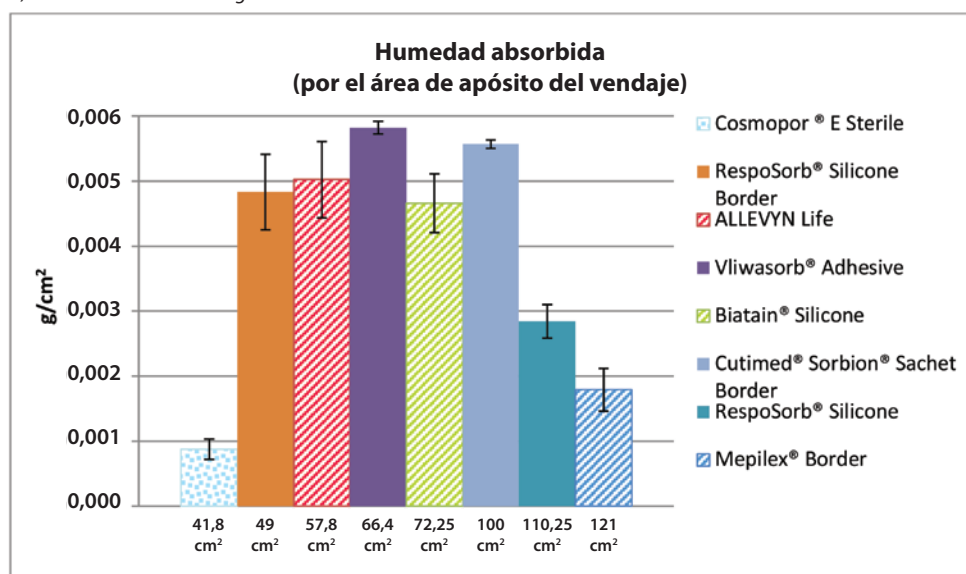


Figura 6. Muestra a) humedad absorbida y b) humedad evaporada por área de apósito del vendaje (se muestra en el eje X en  $\text{cm}^2$ ). Los resultados están organizados en orden ascendente del apósito absorbente y del tamaño del vendaje.

Los vendajes de SAF son barras con rayas; los vendajes de SAP son barras sólidas; el vendaje de referencia tiene pintas azules.

b) Humedad absorbida en  $\text{g}/\text{cm}^2$ .



b) Humedad evaporada en  $\text{g}/\text{cm}^2$ .

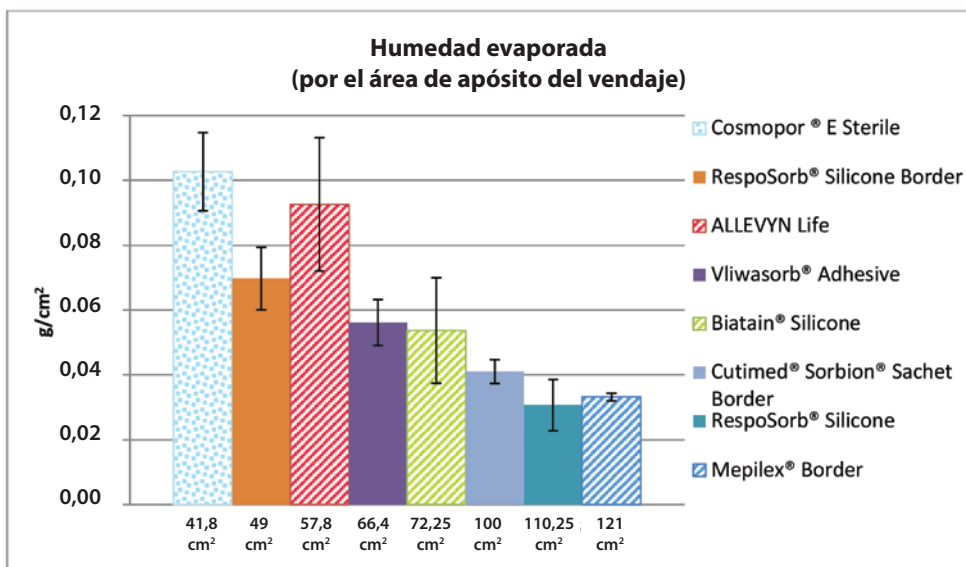
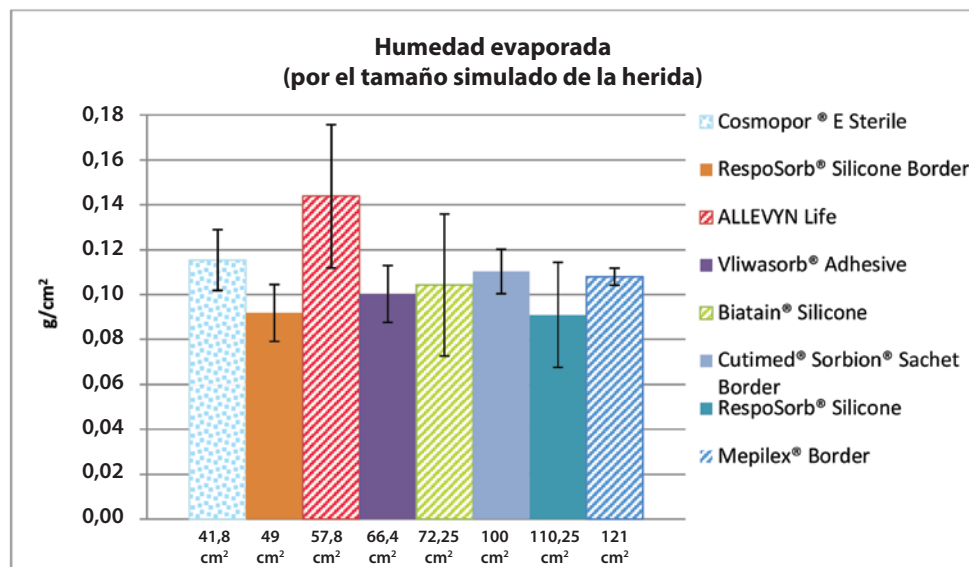




Figura 7. Humedad evaporada de cada vendaje por orden de tamaño del área de los apósitos absorbentes.

Los vendajes de SAF son barras con rayas; los vendajes de SAP son barras sólidas; el vendaje de referencia tiene pintas azules.



un vendaje debería absorber y transpirar toda la humedad que ingresa. Ninguno de estos vendajes lo hicieron, por consiguiente, el total de humedad para cada vendaje del Cuadro 2 no iguala la humedad total ingresada por el indentador, 5,9 g. A partir de estos resultados, parece que los vendajes de SAF y de SAP tienen la capacidad de absorber y que no secarán una herida que exuda al nivel moderado del accesorio de prueba. El ALLEVYN Life es el que más se acerca a la absorción y transpiración de todos los líquidos proporcionados.

Se ingresó la misma cantidad de humedad a todos los vendajes. El vendaje más pequeño tuvo la menor cantidad de humedad absorbida y la mayor humedad evaporada; esto es esperable porque el tamaño de la herida fue constante en todo el vendaje, dejando un porcentaje del área de la herida artificial para que ingrese humedad al área del vendaje que esté accesible para transpirar considerablemente más que los vendajes más grandes. Los vendajes más grandes pudieron absorber y retener más, y el polímero atrapó esa humedad para que no pudiera fugarse y de

hecho esto no ocurrió. Los vendajes más grandes también pueden esparcir y difundir la humedad a un área más grande.

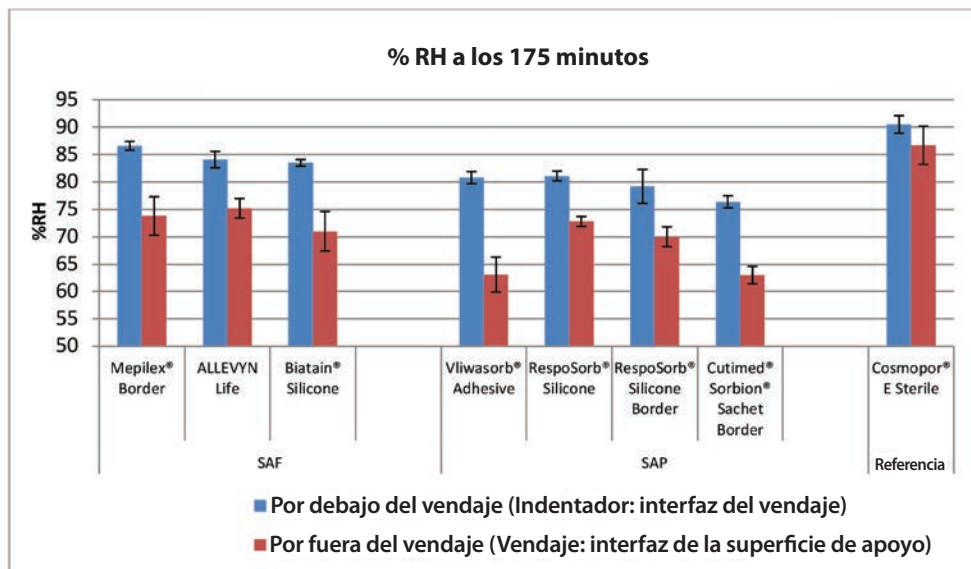
El grupo de vendajes de SAF, el grupo de vendajes de SAP y el vendaje de referencia no fueron significativamente diferentes con respecto a la cantidad de líquido que evaporaron o transpiraron del área de la herida a un IC de un 95 % (Figura 6b). Cuando la humedad evaporada se grafica basada tanto en la humedad provista como en el área del apósito en g/cm², los vendajes avanzados son muy similares (Figura 7). Los diferentes tamaños de apósitos pueden afectar los resultados. Sin embargo, cuando se muestran los resultados en g/cm² a fin de comparar los diferentes tamaños de vendajes, las diferencias son muy pequeñas. Esto dificulta la interpretación.

Esta prueba fue realizada de manera compatible con otras pruebas, algunas publicadas y otras no publicadas, en las que se indicaban notables diferencias de humedad controlada entre los vendajes avanzados<sup>6,12</sup>. Este hecho inspiró a los fabricantes para

Cuadro 3. Porcentaje promedio de la humedad relativa a los 175 y 196 minutos.

	RH a los 175 min.			RH a los 196 min.		
	Por debajo	Por fuera	Diferencia	Por debajo	Por fuera	Diferencia
Mepilex Border	86,6	73,8	12,8	82,9	67,7	15,2
ALLEVYN Life	84,1	75,2	8,9	79,8	68,6	11,2
Biatain Silicone	83,5	71	12,5	79,2	66,2	14
<b>SAF promedio</b>	<b>84,7</b>	<b>73,3</b>	<b>11,4</b>	<b>80,6</b>	<b>67,2</b>	<b>13,5</b>
Vliwasorb Adhesive	80,8	63,1	17,7	76	58,2	17,7
RespoSorb Silicone	81,1	72,8	8,3	77,7	69	8,7
RespoSorb Silicone Border	79,2	70	9,2	76,3	65,5	10,8
Cutimed	76,4	63	13,4	71,9	58,2	13,7
<b>SAP promedio</b>	<b>79,4</b>	<b>67,2</b>	<b>12,2</b>	<b>75,5</b>	<b>62,7</b>	<b>11,7</b>
<b>Cosmopor (Referencia)</b>	<b>90,5</b>	<b>86,7</b>	<b>3,8</b>	<b>87,6</b>	<b>83,4</b>	<b>4,2</b>

Figura 8. Porcentaje de humedad relativa a los 175 minutos graficada con barras de IC de un 95 %.



mejorar sus productos, y los soportes de polímeros y permeables al vapor usados en los vendajes posiblemente den como resultado más uniformidad en las estructuras del vendaje y la similitud en la capacidad de control aparente entre los vendajes probados.

#### Humedad y temperatura

Aún no se han determinado mediante investigación clínica o de laboratorio los valores específicos de temperatura y humedad que definen el microclima óptimo. Se espera que los vendajes mantengan el lecho de la herida moderadamente cálido y húmedo en vez de demasiado mojado o demasiado seco, demasiado cálido o demasiado frío en relación con las condiciones dérmicas o subdérmicas normales del cuerpo del paciente y con la atmósfera externa. La mayor humedad y los niveles de humedad pueden producir un impacto negativo en el entorno de la herida a medida que debilitan la piel intacta<sup>1</sup>. El SC está en hidratación de equilibrio a una humedad ambiente de 40–60 %, pero absorbe agua a índices desproporcionadamente crecientes por encima de un

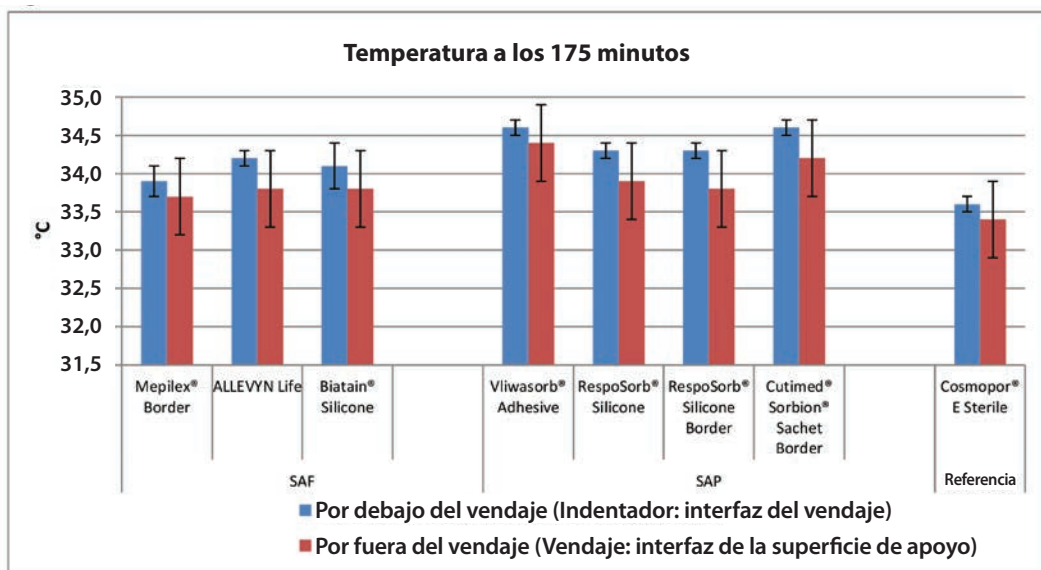
60 %<sup>20-22</sup>. Los resultados de Wildnauer muestran que la humedad relativa por encima de un 60 % tiene la mayor influencia al disminuir fuerzas cohesivas internas dentro del SC<sup>23</sup>.

A los 175 minutos, todos los vendajes se encontraban por encima de un 75 % de humedad relativa por debajo del vendaje con un rango de 83,5–86,6 % para los vendajes de SAF y 76,4–81,1 % para los vendajes de SAP. Es razonable considerar estos valores como humedad. Los vendajes con mayores humedades por dentro –el grupo de vendaje de SAF y el vendaje de referencia a un 90,5 %– pueden ser un motivo de preocupación al sobrehidratar potencialmente el lecho de la herida o la periferia de la herida. A los 175 minutos, todos los vendajes también tenían menores lecturas de humedad por fuera del vendaje que por dentro, tal como era de esperar. Todos los niveles de humedad por fuera de los vendajes eran mayores que los del ambiente, lo que indica que el soporte de poliuretano sí evapora o transpira líquido. Hubo una correlación entre la humedad relativa por debajo del vendaje

Cuadro 4. Temperatura promedio a los 175 y 196 minutos.

	Temperatura a los 175 min.			Temperatura a los 196 min.		
	Por debajo	Por fuera	Diferencia	Por debajo	Por fuera	Diferencia
Mepilex Border	38,9	33,7	0,2	33,5	33,1	0,4
ALLEVYN Life	34,2	33,8	0,4	33,9	33,2	0,6
Biatain Silicone	34,1	33,8	0,4	33,9	33,4	0,6
<b>SAF promedio</b>	<b>34,1</b>	<b>33,8</b>	<b>0,3</b>	<b>33,8</b>	<b>33,2</b>	<b>0,5</b>
Vliwasorb Adhesive	34,6	34,4	0,2	34,3	33,9	0,4
RespoSorb Silicone	34,3	33,9	0,3	33,7	33,1	0,6
RespoSorb Silicone Border	34,3	33,7	0,6	33,9	33,1	0,8
Cutimed	34,6	33,2	0,4	34,1	33,6	0,5
<b>SAP promedio</b>	<b>34,5</b>	<b>34,1</b>	<b>0,4</b>	<b>34</b>	<b>33,4</b>	<b>0,6</b>
<b>Cosmopor (Referencia)</b>	<b>33,6</b>	<b>33,4</b>	<b>0,1</b>	<b>33</b>	<b>32,8</b>	<b>0,2</b>

Figura 9. Temperatura promedio a los 175 minutos graficada con barras de IC de un 95 %.



ya la humedad absorbida por el apósito del vendaje. La menor humedad absorbida por el apósito se correlaciona con la mayor humedad por debajo del vendaje (coeficiente de correlación de Pearson = -0,83).

La liberación total de presión a los 176 minutos detuvo el indentador y el vendaje de prueba al aire, y permitió el intercambio de calor y humedad con el ambiente. La Figura 11 indica los resultados graficados para uno de los vendajes, RespoSorb® Silicone, durante los 196 minutos de la prueba. Esto ilustra una evolución similar vista en todos los vendajes. Las temperaturas y humedades se elevaron de manera precoz en la recopilación de datos, luego las temperaturas finalmente se quedaron en una meseta mientras que las humedades continuaron aumentando. Ambos valores descendieron abruptamente cuando se subió el indentador para la liberación de presión de 45 segundos, después se elevaron a casi los niveles previos a que fuera subido. Resultó impresionante el hecho de que una liberación de presión pudiera tener un efecto rápido, mensurable y significativo tanto en el calor como en la humedad, lo que demuestra los beneficios de los

cambios frecuentes de posición más allá de abordar simplemente la presión y el corte. Quince minutos después de elevar la liberación de la presión, a los 196 minutos, todos los niveles de humedad estaban por encima de un 70 %, y el vendaje de referencia estaba en su pico a un 87,6 %. Parece que el vapor de humedad escapa más rápidamente de lo que es atrapado, dentro de los 15 minutos de ser subido, todos los valores regresaron a los niveles de los 175 minutos.

Ambos grupos de vendajes mantuvieron el lecho de la herida relativamente tibios según lo indican las temperaturas más bajas por fuera del vendaje que por dentro del mismo. Esto conduce a la cicatrización de la herida dentro del rango recomendado de 33–35 °C<sup>7</sup>. Yusuf y cols.<sup>24</sup> informaron que una diferencia en la temperatura de la piel de solo 0,3 °C pronosticaba la ulceración por presión. Si bien esta medición no está hecha en el lecho de la herida, indica que pequeñas diferencias en la temperatura de la piel puedan estar relacionadas con el daño. El rango de temperaturas internas del vendaje entre los vendajes era de 1 °C a los 175 minutos y de 0,8 °C a los 196 minutos, de modo que estos

Figura 10. Temperatura promedio a los 196 minutos graficada con barras de IC de un 95 %.

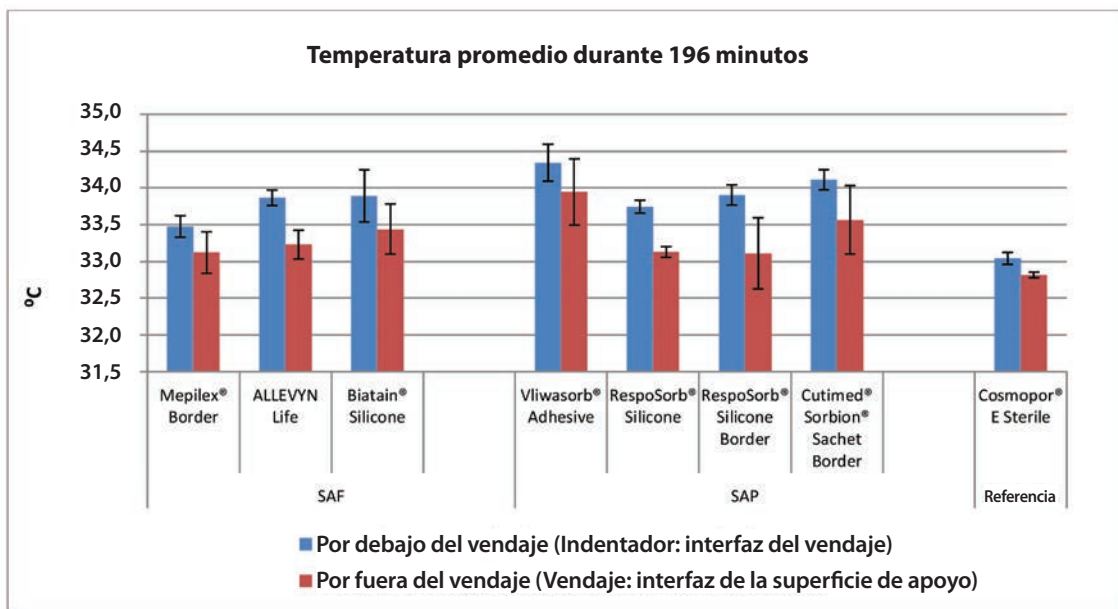
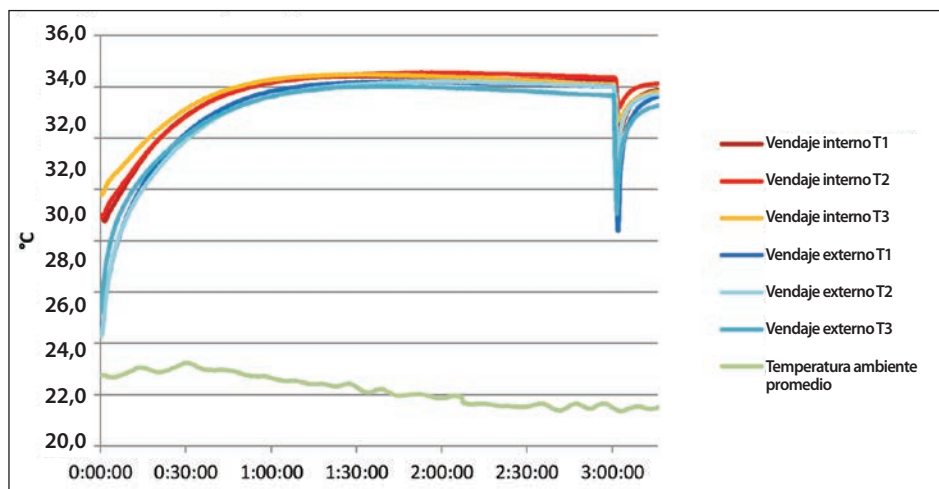
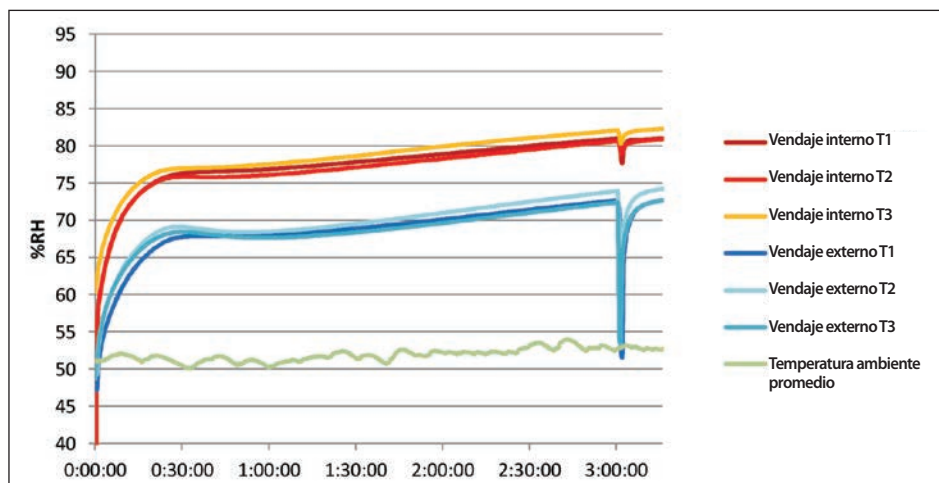


Figura 11. Trayectoria del análisis de RespoSorb® Silicone como ejemplo de a) temperatura y b) humedad durante el período de prueba.

a) Trayectoria de la temperatura.



b) Trayectoria de la humedad.



rangos pueden ser problemáticos. Si bien el estudio de Yusuf no prueba la causa, necesitamos ser conscientes de un posible efecto de la temperatura sobre la integridad del tejido.

Las diferencias de temperatura son acumulativas. El índice al cual la temperatura cae después de liberar la presión puede afectar esta acumulación. Una pequeña diferencia acumulada en el tiempo puede marcar una gran diferencia. Las caídas de temperaturas a los 175 y 196 minutos por vendaje fueron las mayores para ambos vendajes RespoSorb®.

### Limitaciones

Sería de interés realizar este estudio en un modelo de herida con alta exudación en vez de realizarlo en un modelo de piel intacta que exuda vapor a fin de analizar el rendimiento de los vendajes bajo las condiciones en las que normalmente se utilizan con más precisión.

### CONCLUSIÓN

La conclusión de este estudio in vitro es que los vendajes de SAF y los vendajes de SAP parecen ser igualmente adecuados para mantener el microclima de humedad y calor en el lecho de la herida para mejorar la cicatrización de la herida. Absorben más

humedad por cm<sup>2</sup> y evaporan o transpiran más humedad que los vendajes más básicos. La capa de espuma en los vendajes de SAF no parece mejorar las condiciones microclimáticas en el lecho de la herida con respecto a los vendajes de SAP sin la capa de espuma. Ni los vendajes de SAF ni los de SAP secan el lecho de la herida del modo que implica el término superabsorbente. También se demostró que el alivio periódico de la presión disminuye notoriamente la temperatura y la humedad en el lecho de la herida, lo que mejora la función del vendaje y puede aumentar la cicatrización de la herida.

### CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no hay conflictos de intereses.

### FINANCIACIÓN

Este estudio fue financiado por Paul Hartmann AG, Heidenheim, Alemania, fabricante de RespoSorb® Silicone y RespoSorb® Silicone Border.



## REFERENCIAS

1. Woo KY, Beeckman D, Chakravarthy D. Management of moisture-associated skin damage: a scoping review. *Adv Skin Wound Care* 2017;30(11):494–501.
2. Seaman S. Dressing selection in chronic wound management. *J Am Podiatr Med Assoc* 2002;92(1):24–33.
3. Winter GD, Scales JT. Effect of air drying and dressings on the surface of a wound. *Nature* 1963;197:91–2.
4. Rippon MG, Ousey K, Cutting KF. Wound healing and hyper-hydration: a counterintuitive model. *J Wound Care* 2016;25(2):68, 70–5.
5. World Union of Wound Healing Societies. Wound exudate: effective assessment and management: WUWHs consensus document. London (UK): Wounds International; 2019.
6. Kottner J, Black J, Call E, Gefen A, Santamaria N. Microclimate: a critical review in the context of pressure ulcer prevention. *Clin Biomech*;2018;59:62–70.
7. Dini V, Salvo P, Janowska A, Di Francesco F, Barbini A, Romanelli M. Correlation between wound temperature obtained with an infrared camera and clinical wound bed score in venous leg ulcers. *Wounds* 2015;27(10):274–8.
8. Salvo P, Dini V, Kirchhain A, Janowska A, Oranges T, Chiricozzi A, et al. Sensors and biosensors for C-reactive protein, temperature and pH, and their applications for monitoring wound healing: a review. *Sensors*;2017;17(12).
9. Woo KY, Sibbald RG. The ABCs of skin care for wound care clinicians: dermatitis and eczema. *Adv Skin Wound Care* 2009;22(5):230–6; quiz 7–8.
10. Bolton LL, Johnson CL, van Rijswijk L. Occlusive dressings: therapeutic agents and effects on drug delivery. *Clin Dermatol* 1992;9.
11. European Standards. Test methods for primary wound dressings. Part 1: aspects of absorbency. Brussels (Belgium): European Committee for Standardization; 2002.
12. Call E, Pedersen J, Bill B, Oberg C, Ferguson-Pell M. Microclimate impact of prophylactic dressings using in vitro body analog method. *Wounds* 2013;25(4):94–103.
13. ISO. ISO 554:1976E Standard atmospheres for conditioning and/or testing: specifications. Geneva (Switzerland): International Organization for Standardization; 1976.
14. Ferguson-Pell M, Hirose H, Nicholson G, Call E. Thermodynamic rigid cushion loading indenter: a buttock-shaped temperature and humidity measurement system for cushioning surfaces under anatomical compression conditions. *J Rehabil Res Dev* 2009;46(7):945–56.
15. Call E, Pedersen J, Bill B, Black J, Alves P, Brindle CT, et al. Enhancing pressure ulcer prevention using wound dressings: what are the modes of action? *Int Wound J* 2015;12(4):408–13.
16. ANSI/RESNA. ANSI/RESNA SS-1-2019 for support surfaces volume 1: requirements and test methods for full body support surfaces. Arlington (USA): Rehabilitation Engineering and Assistive Technology Society of North America; 2019.
17. Figliola RS. A proposed method for quantifying low-air-loss mattress performance by moisture transport. *Ostomy Wound Manage* 2003;49(1):32–42.
18. Reger SI, Adams TC, Maklebust JA, Sahgal V. Validation test for climate control on air-loss supports. *Arch Phys Med Rehabil* 2001;82(5):597–603.
19. Phipps L, Gray M, Call E. Time of onset to changes in skin condition during exposure to synthetic urine: a prospective study. *J Wound Ostomy Continence Nurs* 2019;46(4):315–20.
20. Imhof RE, De Jesus ME, Xiao P, Ciortea LI, Berg EP. Closed-chamber transepidermal water loss measurement: microclimate, calibration and performance. *Int J Cosmet Sci* 2009;31(2):97–118.
21. Li X, Johnson R, Kasting GB. On the variation of water diffusion coefficient in stratum corneum with water content. *J Pharm Sci* 2016;105(3):1141–7.
22. Petrofsky JS, Berk L, Alshammari F, Lee H, Hamdan A, Yim JE, et al. The interrelationship between air temperature and humidity as applied locally to the skin: the resultant response on skin temperature and blood flow with age differences. *Med Sci Monit* 2012;18(4):CR201–8.
23. Wildnauer RH, Bothwell JW, Douglass AB. Stratum corneum biomechanical properties: I. Influence of relative humidity on normal and extracted human stratum corneum. *J Investig Dermatol* 1971;56(1):72–8.
24. Yusuf S, Okuwa M, Shigeta Y, Dai M, Iuchi T, Rahman S, et al. Microclimate and development of pressure ulcers and superficial skin changes. *Int Wound J* 2015;12(1):40–6.