



## GX SWEAT PATCH Y SU APP PARA LA HIDRATACIÓN PERSONALIZADA

Lindsay B. Baker, PhD<sup>1</sup> y Anthony S. Wolfe, MS<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Gatorade Sports Science Institute, Valhalla NY, EUA

<sup>2</sup>Gatorade Sports Science Institute, Frisco TX, EUA

### PUNTOS CLAVE

- Las prácticas de hidratación apropiadas durante el ejercicio son importantes para evitar desequilibrios de líquidos-electrolitos y mantener el rendimiento.
- Debido a la considerable variación en la tasa de sudoración y las concentraciones de electrolitos del sudor, se recomiendan estrategias personalizadas de reposición de líquidos basadas en perfiles individuales de sudoración.
- Las pruebas de sudoración no han estado ampliamente disponibles para el uso diario fuera de los deportes de élite y los entornos de investigación clínica.
- Recientemente, GSSI desarrolló un dispositivo microfluídico portátil (Gx Sweat Patch) y una plataforma de procesamiento de imágenes para teléfonos inteligentes (Gx App) para la medición corporal de la tasa de sudoración local y la concentración de cloruro en el sudor. Los algoritmos de la aplicación Gx se utilizan para predecir la tasa de sudoración de todo el cuerpo (TSTC) y las pérdidas de sodio de sudor de todo el cuerpo a partir de las medidas locales obtenidas del parche de sudor Gx.
- El Gx Sweat Patch y su App permiten realizar pruebas de sudor individualizadas en condiciones de campo sin necesidad de conocimientos especializados ni herramientas de laboratorio.
- La Plataforma Gx ha sido validada contra los métodos de prueba de sudor estándar, incluyendo la técnica de balance de masa para TSTC y lavado de todo el cuerpo para la concentración de cloruro y sodio en sudor.

### INTRODUCCIÓN

Las prácticas de hidratación adecuadas durante el ejercicio son importantes para evitar desequilibrios hidroelectrolíticos y ayudar a mantener el rendimiento (McDermott et al., 2017; Sawka et al., 2007; Thomas et al., 2016). El factor clave que impacta los requerimientos de consumo de líquidos es la producción de sudor, y es bien conocido que hay una variación significativa entre los individuos en las tasas de sudoración (~0.5-2.5 L/h) y concentraciones de sodio y cloruro en el sudor ( $[Na^+]$  y  $[Cl^-]$  ~10-90 mmol/L) durante el ejercicio (Barnes et al., 2019). Un consumo insuficiente de líquidos frente a altos volúmenes de pérdida de líquidos a través de la sudoración, puede aumentar el riesgo de hipohidratación significativa (pérdida  $\geq 2\%$  de masa corporal) (Belval et al., 2019). Por otro lado, el exceso de consumo de líquido en relación con las pérdidas de sudor aumenta el riesgo de desarrollar hiponatremia, particularmente durante eventos prolongados (Hew-Butler et al., 2015). Se recomienda la prueba de sudoración individualizada para ayudar a identificar a los atletas con un mayor o menor riesgo de pérdidas significativas de líquidos y electrolitos (McDermott et al., 2017). Sin embargo, las pruebas de sudor pueden ser un proceso complicado, que requiere equipo especializado y experiencia para analizar e interpretar los resultados. En particular, la prueba de composición del sudor no está ampliamente disponible para el uso diario fuera de deportes de élite y entornos de investigación clínica.

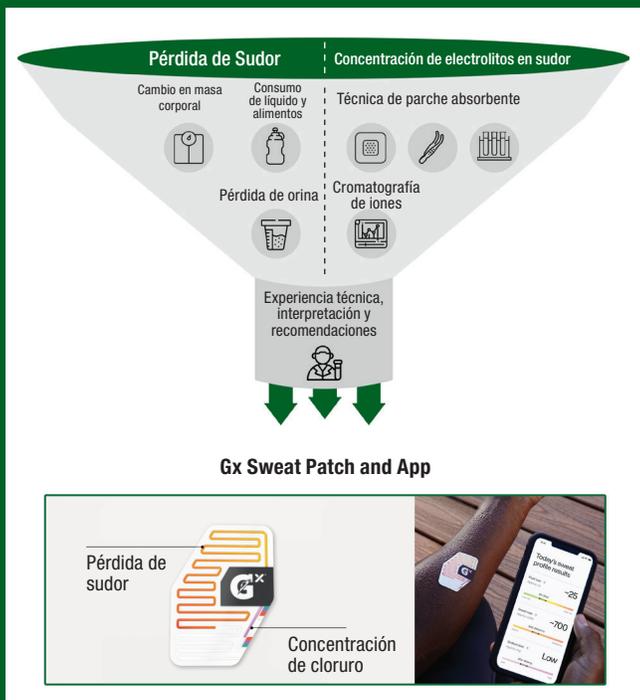
Las pérdidas de sudor de todo el cuerpo se estiman típicamente midiendo el cambio en la masa corporal antes y después del ejercicio, mientras que también se tiene en cuenta cualquier ingesta de líquidos y/o pérdida de orina durante la sesión de prueba (enfoque de balance de masa) (Cheuvront & Kenefick, 2017). La técnica de referencia para la medición de  $[Na^+]$  y  $[Cl^-]$  del sudor de todo el cuerpo es el procedimiento de lavado en laboratorio (Lemon et al., 1986; Shirreffs & Maughan, 1997). Un enfoque alternativo práctico es predecir las pérdidas de sudor de todo el cuerpo a partir de la tasa de sudoración local (TSL) y las concentraciones locales de electrolitos en sudor (Baker et al., 2018). Aun así, la evaluación de los perfiles de sudor

utilizando técnicas locales establecidas de recolección y análisis de sudor es un proceso lento y laborioso. Aunque la técnica de parche absorbente se ha utilizado ampliamente con los atletas para medir las concentraciones de electrolitos en el sudor (Barnes et al., 2019; Maughan et al., 2004), la recolección requerida y el costoso análisis del sudor en el laboratorio no son prácticos para la población en general e impiden la retroalimentación en tiempo real. Los avances en las tecnologías portátiles han permitido un enfoque más simple y menos intrusivo para las pruebas de sudoración. Con este fin, el Gatorade Sports Science Institute (GSSI) desarrolló recientemente un dispositivo microfluídico portátil (Gx Sweat Patch) y una plataforma de procesamiento de imágenes en teléfonos inteligentes para la medición en el cuerpo de la TSL y  $[Cl^-]$  del sudor local, así como algoritmos para predecir la tasa de sudoración de todo el cuerpo (TSTC) y las pérdidas de  $Na^+$  en el sudor de todo el cuerpo (Gx App) (Figura 1) (Baker et al., 2020). El propósito de este artículo de Sports Science Exchange es describir brevemente la ciencia detrás de la Plataforma Gx y su utilidad práctica para facilitar recomendaciones personalizadas de consumo de líquidos.

### Gx SWEAT PATCH

#### Visión general

El Gx Sweat Patch (Figura 2) es un apilamiento flexible de materiales poliméricos de película delgada (3M) que consiste en una red cerrada de microcanales. El parche recoge el sudor por un proceso llamado tecnología de microfluidos, a medida que los canales en el parche encaminan el sudor aprovechando la presión natural asociada a la excreción del sudor ecrrino. Se adhiere a la piel a través de un adhesivo hipoalergénico modelado integrado en la superficie inferior del parche. Las ventanas de entrada definen dos regiones distintas de recolección de sudor que interactúan con la piel, incluyendo una para TSL y otra para la  $[Cl^-]$  en sudor.



**Figura 1:** El Gx Sweat Patch y App fueron validados contra métodos estándar para determinar las pérdidas de sudor y la concentración de cloruro de sodio (representado en el embudo), permitiendo así un enfoque más simple de las pruebas de sudor individualizadas en condiciones de campo sin necesidad de conocimientos especializados o herramientas de laboratorio.

El micro canal 1 contiene una tinta naranja integrada que se mezcla con el sudor excretado cerca de la entrada para que la propagación del sudor sea visible a medida que fluye a través de la vía del canal. Se puede medir el frente de la línea naranja para determinar el volumen de sudor acumulado con el tiempo (TSL). El micro canal 2 contiene cloranilato de plata utilizado para el análisis colorimétrico de la  $[Cl^-]$  del sudor local. El sudor que entra en el micro canal 2 se mezcla con el cloranilato, produciendo un color púrpura con una intensidad que aumenta monótonamente con la  $[Cl^-]$ . Es importante observar que el cloruro es el electrolito de elección para el parche microfluídico porque el ensayo colorimétrico del cloruro está bien establecido, y la reacción química es resistente en varias temperaturas ambiente. Por el contrario, los ensayos de sodio son menos estables, y no existe ninguno que precipite al sodio para mediciones cuantitativas a través de la colorimetría. Sin embargo, con base en el trabajo de nuestro laboratorio (Baker et al., 2020), hay una fuerte correlación entre la  $[Cl^-]$  y la  $[Na^+]$  del sudor de todo el cuerpo, lo que permite predicciones precisas de la  $[Na^+]$  en sudor (Figura 3).

## Instrucciones de uso

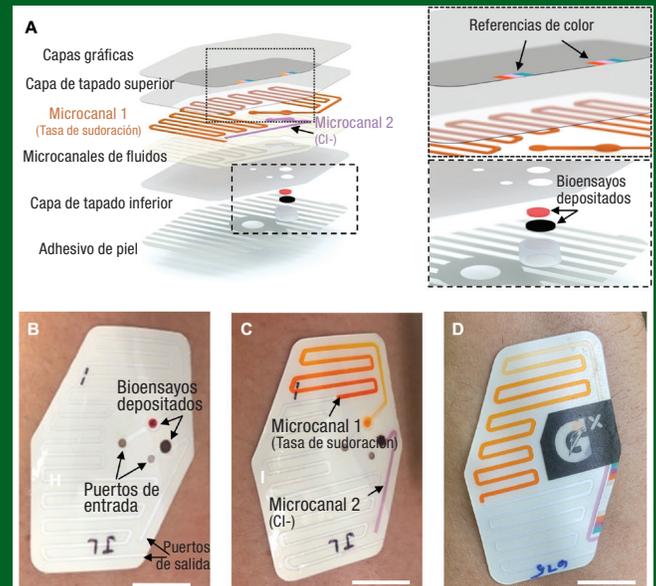
### Aplicar el parche Gx a la piel.

El Gx Sweat Patch debe aplicarse en el antebrazo ventral izquierdo (interior), aproximadamente 2-3 pulgadas por debajo del pliegue del codo, antes de hacer ejercicio. Para una adherencia óptima del parche, es necesario limpiar la piel (por ejemplo, con una toallita de alcohol) y dejar secar al aire lo suficiente antes de la aplicación. Es fundamental que el antebrazo esté libre de productos para el cuidado de la piel

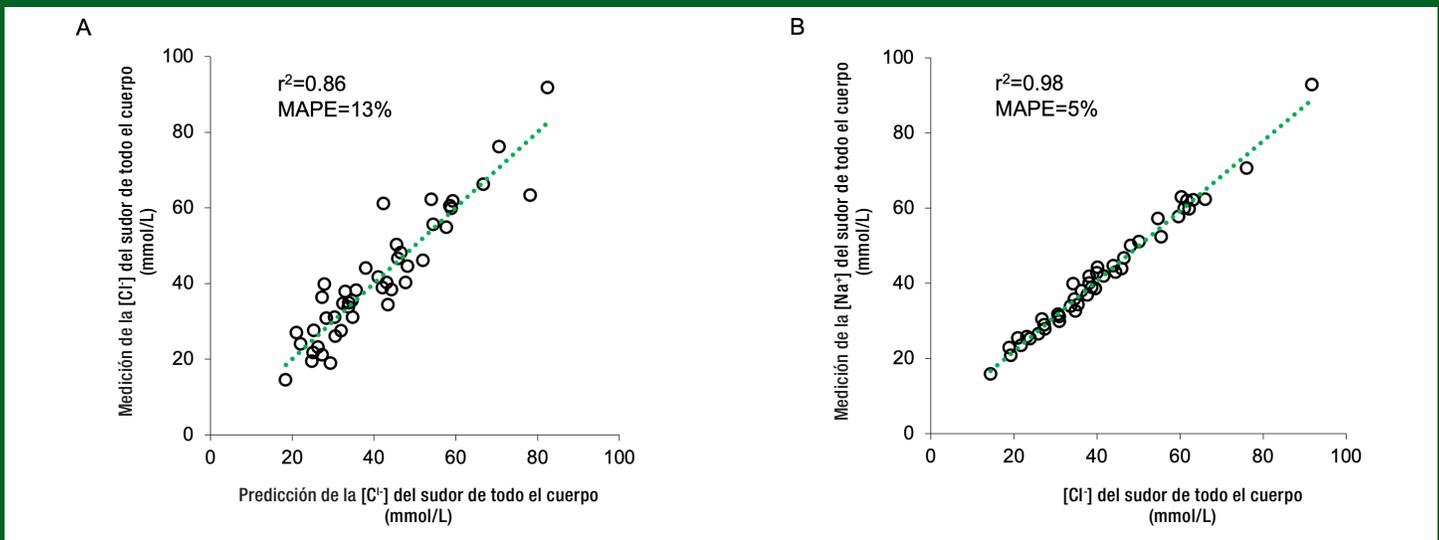
(lociones, protector solar, etc.) antes de la aplicación del parche. Además, el usuario debe presionar firmemente hacia abajo durante ~5-10 segundos para sellar el parche en la piel. Se eligió el antebrazo ventral como sitio regional debido a la correlación significativa con la TSTC y las concentraciones de electrolitos en sudor de todo el cuerpo (Baker et al., 2018; 2019). Esta ubicación también es conveniente para que los usuarios fotografíen con su teléfono inteligente y tienda a tener menos cabello que otros sitios. Afeitarse no es necesario para la mayoría de las personas, pero puede ser útil para la adhesión si los folículos pilosos son densos. El Gx Sweat Patch se puede colocar en los tatuajes (consulte la sección de “Investigación para Validación” más adelante para obtener más detalles).

### Obtención de resultados de perfil de sudor.

Para obtener los datos del perfil de sudor, el atleta o profesional debe usar la Gx App o Gx Teams (para equipos, disponible solo en EUA) (vea la descripción de cada uno a continuación) para tomar una imagen del Gx Sweat Patch mientras todavía está en la piel. La imagen debe tomarse después de completar la sesión de ejercicio o justo antes de que el canal naranja se llene completamente durante el ejercicio, lo que ocurra primero. El tiempo de uso mínimo para obtener los resultados del perfil de sudor (es decir, hasta que el sudor de color sea visible) varía dependiendo de la tasa de sudoración del atleta. Las personas con bajas tasas de sudoración (por ejemplo, TSL de ~0.5 mg/cm<sup>2</sup>/min) pueden necesitar hacer ejercicio durante al menos 60 minutos para obtener resultados. Los sudadores intensos (por ejemplo, TSL de ~2.5 mg/cm<sup>2</sup>/min) podrían ver cambios de color en el parche dentro de los 20 min, mientras que el tiempo de uso máximo antes de que los canales se saturen podría ser ~60-70 min



**Figura 2:** Dibujos esquemáticos e imágenes ópticas del Gx Sweat Patch. (A) Ilustración de la vista explotada del parche y sus capas de subensamblaje. Los recuadros muestran bocetos ampliados de los colores de referencia en la capa de gráfica superior (arriba) y los ensayos depositados en la capa incrustada (abajo). (B) Imagen óptica del parche en el antebrazo ventral antes del ejercicio (sin rellenar) (barra de escala, 1 cm). (C) Imagen óptica del parche que muestra el relleno de sudor en los microcanales 1 y 2 (barra de escala, 1 cm). (D) Imagen óptica del parche, incluyendo la capa gráfica superior con el logotipo de Gx (barra de escala, 1 cm). Figura adaptada de Baker et al. 2020 con permiso.



**Figura 3:** (A) Diagrama de dispersión que muestra estadísticas de bondad de ajuste para el modelo de predicción de Gx del cloruro en sudor de todo el cuerpo (n=45). (B) Diagrama de dispersión que muestra la relación entre la concentración de cloruro en sudor de todo el cuerpo y la concentración de sodio en sudor de todo el cuerpo a partir de los datos recolectados mediante la técnica de lavado de todo el cuerpo (n=45). MAPE, error porcentual absoluto medio. Cifras reproducidas de Baker et al. 2020 con permiso.

La Gx App en el teléfono inteligente procesa los resultados para determinar el perfil de sudoración del usuario (es decir, la tasa de sudoración de todo el cuerpo, pérdida total de sudor y pérdida de  $\text{Na}^+$  en sudor). Se proporcionan recomendaciones personalizadas de consumo de líquido basadas en el perfil de sudor del usuario. Después, el usuario seguirá las recomendaciones para rehidratarse adecuadamente inmediatamente después del entrenamiento y/o hidratarse adecuadamente durante su próximo entrenamiento de intensidad, duración y condiciones ambientales similares. Los resultados del perfil de sudor y las recomendaciones se proporcionan como un rango (intervalo de predicción) para tener en cuenta la variación inherente del día a día y el error en los modelos de predicción.

### INVESTIGACIÓN PARA VALIDACIÓN DE Gx SWEAT PATCH

Se realizó una serie de cuatro grandes ensayos clínicos (Tabla 1) para comparar la tasa de sudoración y la  $[\text{Cl}^-]$  en sudor con la técnica de parche absorbente y para desarrollar algoritmos para predecir los perfiles de sudor de todo el cuerpo. En cada estudio se utilizó una metodología consistente. Se recolectó sudor de los antebrazos ventrales derecho e izquierdo con un parche absorbente (Tegaderm+Pad, 3M; almohadilla tamaño 11.9  $\text{cm}^2$ ) y el parche microfluídico portátil, respectivamente. Esto se consideró una comparación válida ya que la bibliografía sugiere que no hay diferencias bilaterales significativas en las concentraciones de electrolitos en el sudor y la TSL del antebrazo (Baker et al., 2018; Dziedzic et al., 2014; Morris et al., 2013; Verde et al., 1982). La TSL del parche absorbente se midió mediante gravimetría. La  $[\text{Cl}^-]$  y  $[\text{Na}^+]$  se midieron mediante cromatografía iónica. La TSTC se midió utilizando la técnica estándar de balance de masa, corregida con la pérdida de orina, consumo de líquidos/alimentos, pérdida de masa metabólica y pérdida de agua respiratoria. La técnica de lavado de todo el cuerpo se utilizó para medir las concentraciones de electrolitos del sudor de todo el cuerpo (Estudio 1 solamente) (Baker et al., 2020).

En la Tabla 1 hay una breve descripción de los cuatro estudios de validación y un resumen de los resultados. En el primer estudio (Baker et al., 2020) se demostraron correlaciones significativas entre el Gx Sweat Patch y la técnica estándar de parche absorbente en

mediciones de TSL y  $[\text{Cl}^-]$  del sudor local, tanto en un entorno de laboratorio controlado como en el campo. Además, los coeficientes de variaciones (CV) para el dispositivo microfluídico fueron similares a la de las técnicas de referencia tanto para TSL (9%) como para la  $[\text{Cl}^-]$  del sudor local (12-13%) (Baker et al., 2020). Estos CV también son consistentes con estudios previos que investigan la variabilidad diaria en la TSL del antebrazo y las concentraciones de electrolitos (Baker, 2017). Además, los modelos fueron derivados para predecir TSTC y  $[\text{Cl}^-]$  del sudor de todo el cuerpo de los datos regionales microfluídicos. En total, se evaluaron 312 atletas (194 hombres y 118 mujeres; 15-45 años) participantes de una gama de deportes en interiores (ciclismo estacionario, baloncesto) y al aire libre (fútbol, tenis, lacrosse, atletismo) en condiciones templadas a cálidas (21-35°C, 25-82% de humedad relativa) en este estudio original.

Dado que el primer estudio se llevó a cabo principalmente con atletas competitivos en condiciones cálidas, el objetivo del segundo estudio (Baker et al., 2022b) fue probar la validez del Gx Sweat Patch en una gama más amplia de condiciones para incluir escenarios relevantes para los usuarios recreativos. En este estudio se encontraron correlaciones significativas con la técnica estándar de parche absorbente (Tabla 1) y buena confiabilidad diaria para TSL (9-13%) y  $[\text{Cl}^-]$  del sudor local (11-14%). Además, se añadieron 148 sujetos al conjunto de datos de la TSTC para ampliar la aplicabilidad del algoritmo predictivo e incluir el ejercicio recreativo (fitness y running) y entornos más fríos (hasta 8°C).

El objetivo del tercer estudio (Baker et al., 2022a) fue determinar la validez ecológica, así como la validez del criterio, de los algoritmos predictivos del Gx Sweat Patch y la TSTC probándolo en condiciones no controladas con jugadores de baloncesto de la G-League durante sesiones de entrenamiento dirigidas por entrenadores. Este estudio corroboró los resultados de los dos primeros trabajos, ya que se encontraron correlaciones significativas (Tabla 1) con la técnica estándar de parche absorbente y se extendió la validez a jugadores de baloncesto de élite, con o sin piel tatuada, durante las sesiones de entrenamiento de intensidad moderada que incluyeron una mezcla de ejercicios sin contacto y juegos de práctica de alto contacto. Además, no hubo diferencia entre la TSTC medida y predicha ( $0.97 \pm 0.41$  L/h

		Estudio 1 (Baker et al, 2020)	Estudio 2 (Baker et al, 2022b)	Estudio 3 (Baker et al, 2022a)	Estudio 4 (sin publicar)
<b>Descripción</b>		Estudio inicial principalmente con atletas competitivos, incluyendo jóvenes, en condiciones cálidas. n=312	Estudio de seguimiento principalmente con usuarios recreativos e incluyendo condiciones más frías. n=148	Estudio con jugadores de baloncesto de la liga G durante las prácticas de pretemporada. n=53	Estudio de seguimiento principalmente con ciclismo al aire libre, running y fitness, incluyendo adultos mayores. n=92
<b>Correlaciones con los datos del parche absorbente</b>	<b>Tasa de sudoración</b>	r=0.83-0.90, p<0.0001	r=0.77-0.92, p<0.0001	r=0.74, p<0.0001	r=0.88, p<0.0001
	<b>Concentración de cloruro en sudor</b>	r=0.84-0.93, p<0.0001	r=0.85-0.91, p<0.0001	r=0.83, p<0.0001	r=0.83, p<0.0001
<b>Estadísticas de bondad de ajuste para los modelos de predicción de todo el cuerpo</b>	<b>Tasa de sudoración</b>	r <sup>2</sup> =0.74* MAPE=14%* r <sup>2</sup> =0.63† MAPE=17%†	r <sup>2</sup> =0.75* MAPE=23%* r <sup>2</sup> =0.75† MAPE=23%†	r <sup>2</sup> =0.46† MAPE=30%†	r <sup>2</sup> =0.64* MAPE=19%* r <sup>2</sup> =0.74† MAPE=17%†
	<b>Concentración de cloruro en sudor</b>	r <sup>2</sup> =0.86 MAPE=13% (n=45)	NA	NA	NA

MAPE, error porcentual absoluto medio. \*Los resultados del modelo de predicción incluyen el gasto de energía, la masa corporal, el sexo, la temperatura del aire, el deporte, la duración del ejercicio y la tasa de sudoración de Gx como variables independientes en el modelo. †Resultados del modelo de predicción sin mediciones de gasto de energía en el modelo.

**Tabla 1:** Resumen de estudios de validación del Gx Sweat Patch.

vs.  $0.89 \pm 0.35$  L/h,  $p=0.22$ ) y el 95% de los límites de confianza de Bland-Altman entre métodos fue de 0.61 L/h. Para poner estos resultados en contexto práctico, el error de predicción de pérdida de sudor de todo el cuerpo se puede expresar como un porcentaje de la masa corporal de los jugadores. De los 49 sujetos,  $n=35$  (71%) las predicciones estaban dentro del 0.5% de masa corporal. Cuarenta y ocho (98%) predicciones estuvieron dentro del 1.0% de masa corporal y  $n=1$  (2%) fue +1.5% de su masa corporal (Baker et al., 2022a). También es relevante señalar que en estudios recientes que utilizan solo la técnica de parche absorbente, los tatuajes han tenido un efecto mínimo o nulo sobre la TSL y la  $[Na^+]$ ,  $[Cl^-]$ , y  $[K^+]$  del sudor durante el ejercicio (Beliveau et al., 2020; Keyes et al., 2022; Rogers et al., 2019). Por lo tanto, el muestreo local del sudor y los análisis de la piel tatuada no deben tener ningún impacto en la interpretación práctica de los resultados de las pruebas de sudor personalizadas cuando se realizan durante el ejercicio.

Finalmente, se realizó un cuarto ensayo clínico (datos no publicados) para ampliar el conjunto de datos de Gx para incluir el ciclismo al aire libre y ampliar el rango de edad (hasta 65 años) y las condiciones ambientales (hasta 38°C). Una vez más, se lograron correlaciones significativas con los datos del parche absorbente (Tabla 1).

La Figura 3 muestra los gráficos de dispersión de la  $[Cl^-]$  en el sudor de todo el cuerpo predicho versus el medido ( $r^2=0.86$ ) y la fuerte relación entre la  $[Cl^-]$  y la  $[Na^+]$  del sudor de todo el cuerpo ( $r^2=0.98$ ). Dado que la  $[Cl^-]$  en el sudor Gx solo representa el 86% de la variación en la  $[Cl^-]$  en el sudor de todo el cuerpo, un modelo de regresión lineal simple se utiliza en la aplicación Gx para generar resultados de electrolitos en sudor. La Figura 4 muestra los diagramas de dispersión de la TSTC predicha versus medida para los modelos finales desarrollados a partir

de los cuatro estudios. La tasa de sudoración del antebrazo Gx solo representa ~55-65% de la variación en la TSTC (Baker et al., 2020; 2022b); por lo tanto, se utiliza un modelo de regresión múltiple (que incorpora factores adicionales) para predecir la TSTC. Como se muestra en la Figura 4, incluyendo la masa corporal, el sexo, la temperatura del aire, el deporte y la duración del ejercicio en el modelo aumenta el  $r^2$  a 66% (con un porcentaje medio de error absoluto (MAPE) del 21%), mientras que también incluyendo el gasto de energía aumenta el  $r^2$  a 72% (con un MAPE del 19%). La Tabla 2 muestra las condiciones y características de los sujetos para los que se han validado los algoritmos del Gx Sweat Patch y la TSTC.

## APLICACIÓN DE ESTRATEGIAS DE HIDRATACIÓN BASADAS EN LA CIENCIA

Las guías actuales de reposición de líquidos para las personas físicamente activas recomiendan la prevención de niveles moderados de hipohidratación (déficit de masa corporal del 2%) y evitar la sobrehidratación (ganancia de masa corporal) (McDermott et al., 2017; Sawka et al., 2007; Thomas et al., 2016). Además, el sodio debe ingerirse con líquido cuando las pérdidas de sodio en sudor son altas, lo que puede ocurrir cuando hay alguna combinación de ejercicio de duración moderada a prolongada (>1-2 h) en el calor, tasas de sudoración moderadas a altas (>1.5 L/h), y/o concentraciones de sodio en sudor moderadas a altas (>60 mmol/L) (Coyle, 2004; Shirreffs & Sawka, 2011; Thomas et al., 2016). Cuando las pérdidas son altas, algunas veces, pero no siempre, el sodio del sudor debe reponerse durante el ejercicio. En un estudio en el que los participantes perdieron 2.8 g de sodio a través de la sudoración durante 2 h de ciclismo en el calor, la reposición de ~50% de las pérdidas de sodio condujo a un

	Edad (años)	Masa Corporal (kg)	Duración del ejercicio (h)	Temperatura del aire (°C)
<b>Mediana</b>	27	73	1.4	26
<b>Rango</b>	15-65	43-150	0.3-2.7	8-38
<b>Deportes</b>	Running, ciclismo, fitness, baloncesto, fútbol, lacrosse, tenis, atletismo, fútbol americano*			

\*Pruebas de fútbol americano durante ejercicios de entrenamiento sin contacto

**Table 2:** Condiciones y características del sujeto para las que se han validado los algoritmos del Gx Sweat Patch y Tasa de Sudoración de todo el cuerpo.

mejor mantenimiento del volumen plasmático, el volumen latido y el rendimiento en ciclismo que cuando no se consumió sodio, pero no fue diferente de reponer ~100% (Hamouti y otros, 2012).

Con base en estas guías se puede desarrollar una estrategia personalizada de ingesta de líquidos a partir de los datos de pérdida de sudor y electrolitos obtenidos con el Gx Sweat Patch. Por ejemplo, si hay dos individuos de 70 kg que hacen ejercicio durante 90 min: la persona A tiene una pérdida de sudor de 2.3 L y una concentración de sodio en sudor de 70 mmol/L (3.6 g de sodio total) mientras que la persona B tiene una pérdida de sudor de 0.8 L y una concentración de sodio en sudor de 20 mmol/L (0.3 g de sodio total). Durante los próximos 90 minutos de entrenamiento de intensidad y condiciones ambientales similares, la persona A debería beber ~1.0 L de líquido para prevenir la hipohidratación del 2% o hasta 2.3 L de líquido si lo desea. Además, durante y/o después del ejercicio, se aconseja a la Persona A que elija un líquido o alimento/gel/barra con sodio para mitigar un desequilibrio electrolítico y promover la retención de líquidos. Por otro lado, la persona B no necesitaría tomar ningún líquido para evitar el 2% de hipohidratación durante su entrenamiento de 90 minutos. La persona B podría beber según la sed pero se le aconsejaría no consumir más de 0.8 L en total y una pequeña cantidad de sodio podría ser opcional dependiendo de las preferencias personales.

## APLICACIÓN DIGITAL Gx

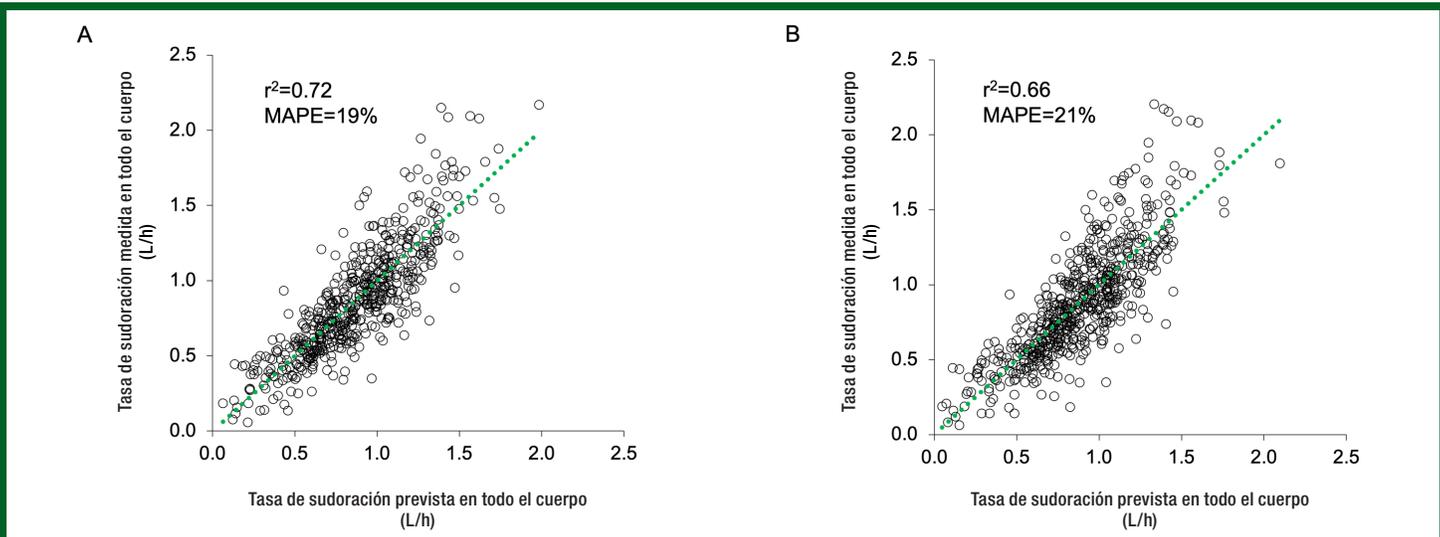
La aplicación de teléfono inteligente Gx está disponible actualmente en iOS para EUA (o en un micrositio desarrollado para América Latina [www.gxsweatpatch.com](http://www.gxsweatpatch.com)) y tiene dos propósitos principales en

relación con el Gx Sweat Patch: 1) captura de imágenes y ruta de procesamiento de algoritmos y 2) visualización de datos y generación de recomendaciones prácticas a través de un motor de inteligencia.

## Algoritmos

Los algoritmos de procesamiento de imágenes se implementan en la Gx App para proporcionar detección y análisis de la TSL y la [Cl<sup>-</sup>] en el sudor local en todo el rango fisiológico. Las muestras de color impresas en la superficie del parche se incluyen en el procesamiento de la imagen para corregir las variaciones de color debido a las condiciones de iluminación (por ejemplo, la temperatura del color). Para permitir a los usuarios capturar imágenes de calidad suficiente y luego cuantificar las características de estas imágenes, se desarrolló un software personalizado utilizando una combinación de aprendizaje automático y algoritmos tradicionales de visión por computadora (Baker et al., 2022b).

La aplicación Gx incluye algoritmos para predecir la TSTC y la [Na<sup>+</sup>] en el sudor de todo el cuerpo a partir de las mediciones locales del sudor. Esto es importante ya que se requieren estimaciones de pérdidas de TSTC y electrolitos para diseñar las estrategias de hidratación. Como se describió anteriormente, los algoritmos se determinaron a partir de mediciones simultáneas de Gx Sweat Patch y datos de sudoración de todo el cuerpo. Se derivó un modelo de regresión múltiple para predecir TSTC mientras se participaba en varios deportes de equipo e individuales bajo una variedad de condiciones ambientales. Las entradas al modelo incluyeron la tasa de sudoración Gx y varios factores relacionados con las características del sujeto (masa corporal



**Figura 4:** Diagramas de dispersión que muestran estadísticas de bondad de ajuste para los modelos de predicción de la tasa de sudoración de todo el cuerpo de Gx desarrollados a partir de todos los datos disponibles (es decir, compilación de estudios descritos en la Tabla 1). (A) Tasa de sudoración de todo el cuerpo predicha versus medida para el modelo completo (incluyendo gasto de energía, masa corporal, sexo, temperatura del aire, deporte, duración del ejercicio y tasa de sudoración de Gx como variables independientes) ( $n = 548$ ). (B) Tasa de sudoración de todo el cuerpo predicha versus medida para el modelo sin gasto de energía ( $n = 597$ ).

y sexo), el medio ambiente (temperatura del aire) y las condiciones de ejercicio (tipo de deporte, gasto de energía y duración del ejercicio). Se derivó un modelo de regresión lineal simple para predecir la  $[Na^+]$  del sudor de todo el cuerpo a partir de la  $[Cl^-]$  del sudor local (Baker et al., 2020).

### Motor de inteligencia (desarrollado solo para la Gx App de EUA)

A medida que los atletas están tendiendo hacia una comprensión más holística del rendimiento deportivo, la preparación para el ejercicio y la recuperación, el motor de inteligencia dentro de la Gx App se combina con el Gx Sweat Patch y aplicaciones de salud y fitness (por ejemplo, Apple Health) para proporcionar ideas y recomendaciones prácticas para ayudar a los atletas a cumplir sus metas. La Gx App permite recomendaciones centradas en la ocasión deportiva (Thomas et al., 2016), que pueden ser generadas por el atleta a través de la entrada manual o seleccionados de uno de los nueve diferentes programas de ejercicio contenidos en la aplicación Gx. Estos programas predeterminados han sido desarrollados por un especialista certificado en fuerza y acondicionamiento (CSCS, por sus siglas en inglés) y tienen intenciones específicas (por ejemplo, entrenamiento para maratón, estabilidad y acondicionamiento del núcleo, fuerza corporal total, etc.).

El motor de inteligencia asimila información sobre el atleta y su sesión de ejercicio para proporcionar estrategias de hidratación, combustible y recuperación basadas en la ciencia. Las recomendaciones de hidratación se basan en los perfiles de sudor individuales determinados a partir del Gx Sweat Patch y algoritmos predictivos como se discutió anteriormente. Las directrices actuales sugieren que los objetivos de ingesta de macronutrientes (Thomas et al., 2016) y las estrategias de suplementos potenciales (Maughan et al., 2018) pueden desarrollarse a partir de la antropometría individual y la duración, intensidad y tipo de ejercicio realizado. Por lo tanto, la aplicación Gx requiere que el atleta seleccione el tipo de ejercicio, la duración y la calificación del esfuerzo percibido (RPE, por sus siglas en inglés) de la sesión prevista de entrenamiento, para comprender la carga de entrenamiento y la intensidad (Foster, 1998). El motor de inteligencia aplica las directrices basadas en la ciencia para proporcionar objetivos de consumo de macronutrientes relevantes en torno a la ocasión del ejercicio. Por ejemplo, si un atleta realiza un ejercicio de resistencia que dure más de una hora, el equivalente de combustible será de 30-60 g/h de carbohidratos. Del mismo modo, un objetivo de ingesta de proteínas para la nutrición de recuperación se puede determinar para los atletas que buscan optimizar las tasas de síntesis de proteína muscular hacia los objetivos de rendimiento. Por ejemplo, se recomienda 0.3 g/kg de masa corporal de proteína de alta calidad durante la fase de recuperación temprana (0-2 h) o lo antes posible después de la sesión de ejercicio (Thomas et al., 2016).

Cuando sea apropiado, los suplementos de cafeína o creatina pueden incluirse en las recomendaciones generadas por la Gx App. Se ha demostrado que la cafeína anhidra consumida en una dosis de 3-6 mg/kg de masa corporal aproximadamente 60 minutos antes del ejercicio tiene efectos ergogénicos en la capacidad de resistencia y el ejercicio de alta intensidad de corta duración (Maughan et al., 2018; Peeling et al., 2018; Spriet, 2014). Las recomendaciones del motor de inteligencia se basan en el extremo inferior de la guía (3 mg/kg de masa corporal) para evitar posibles efectos secundarios de dosis más altas. Las cantidades más bajas de cafeína (<3mg/kg) combinadas

con carbohidratos pueden ser beneficiosas cuando se proporcionan antes y durante el ejercicio (Maughan et al., 2018; Spriet, 2014). En términos de suplementos de creatina, la mayoría de los beneficios de rendimiento documentados han sido durante los episodios de ejercicio de alta intensidad de <30 segundos, pero también puede aumentar la fuerza muscular, la resistencia y la masa corporal magra (Branch, 2003; Cooper et al., 2012; Lanhers et al., 2017; Maughan et al., 2018). Las pautas para la ingesta de creatina pueden incluir una fase de carga de 20 g/día durante los primeros 5-7 días, seguida de una fase de mantenimiento de 3-5 g/día o posiblemente 0.03 g/kg/día (Cooper et al., 2012; Hultman et al., 1996; Lanhers et al., 2017). Alternativamente, se pueden alcanzar niveles suficientes de creatina muscular con dosis más pequeñas (~3-5 g) durante un período más largo (~1 mes) (Hultman et al., 1996). Este último enfoque se utiliza como base para las recomendaciones en el motor de inteligencia de la aplicación Gx para la suplementación potencial de creatina.

### Gx App vs. Gx Teams (disponible solo en EUA)

En Estados Unidos, hay dos tipos de aplicaciones Gx actualmente disponibles en iOS. La Gx App está diseñada para su uso por atletas individuales. Proporciona acceso a programas de ejercicio diseñados por el especialista CSCS y objetivos de ingesta de macronutrientes para prepararse y recuperarse mejor del ejercicio. La Gx App es totalmente personalizable y se sincroniza con otras aplicaciones que los atletas podrían estar utilizando (por ejemplo, Garmin, Strava y Apple Health). También es específico del atleta (es decir, un teléfono, un atleta). Por otro lado, Gx Teams es para profesionales que trabajan con deportistas. Permite a los profesionales crear equipos para realizar un mejor seguimiento de una lista de atletas, ya que con un solo teléfono y App se pueden escanear parches de múltiples atletas (es decir, un teléfono, varios atletas). Ambas aplicaciones utilizan algoritmos de procesamiento de imágenes para obtener resultados a través de la tecnología Gx Sweat Patch. La principal diferencia entre las aplicaciones radica en cómo se visualizan los resultados. Como su nombre lo indica, Gx Teams permite al profesional monitorear los perfiles de sudor individuales en un grupo de atletas y permite la generación en tiempo real de recomendaciones de hidratación personalizadas para todo un equipo.

### CONSIDERACIONES

Si bien el Gx Sweat Patch es un método válido y práctico para las pruebas de sudor en el campo, no está exento de limitaciones. Se necesita que el parche mantenga una adhesión firme a la piel para proporcionar resultados válidos. En nuestra investigación, el Gx Sweat Patch quedó sin adherir de la piel en ~2-5% de los sujetos durante deportes sin contacto o de bajo contacto (Baker et al., 2020; 2022b) y ~14% de los sujetos durante juegos de práctica de alto contacto (Baker et al., 2022a). En comparación, el parche absorbente estándar se desprendió del antebrazo a una tasa de ~0-1% (contacto nulo o bajo) a 3% (contacto alto) durante estos mismos estudios (Baker et al., 2020; 2022a,b). Para una adhesión adecuada del parche microfluídico a la piel, es fundamental que el usuario siga las instrucciones de aplicación (detalladas anteriormente) y evite el contacto físico excesivo con el parche. Mientras que el Gx Sweat Patch se ha utilizado con éxito durante el entrenamiento deportivo de contacto (baloncesto y fútbol americano), las tasas de deslaminación (que el parche se desprege) aumentan durante los juegos de práctica o el juego.

También es importante tener en cuenta que hay tiempos de uso mínimos y, potencialmente, máximos, para obtener resultados de perfil de sudor. El parche necesita usarse al menos hasta que el líquido naranja sea visible en el micro canal 1 para obtener resultados de la tasa de sudoración y hasta que el líquido púrpura sea visible en el micro canal 2 para obtener resultados de electrolitos de sudor. Los tiempos exactos varían dependiendo de la tasa de sudoración del atleta (ver 'Obtención de resultados de perfil de sudor' para las estimaciones). Es fundamental que se tome una imagen del parche antes de que el micro canal naranja se llene, de lo contrario, los datos de la tasa de sudoración no serán válidos. Tenga en cuenta que si los micro canales se desbordan, el líquido morado o naranja puede ir a la piel. Los colorantes alimentarios son inofensivos y se pueden lavar con agua y jabón.

## CONCLUSIÓN

Se llevaron a cabo una serie de ensayos clínicos para comparar los resultados del Gx Sweat Patch microfluídico portátil y las Apps basadas en algoritmos con técnicas estándar para las pruebas de sudor. Las principales conclusiones fueron:

- Los datos de TSL y la  $[Cl^-]$  del sudor local del Gx Sweat Patch se correlacionaron significativamente con los de la técnica de parche absorbente estándar ( $r=0.77-0.93$ ).
- La confiabilidad test-retest (día a día) del Gx Sweat Patch fue similar a las técnicas de referencia tanto para TSL (9-13%) como para la  $[Cl^-]$  del sudor local (11-14%).
- Se desarrollaron algoritmos predictivos sólidos para determinar TSTC ( $r^2=0.72$ , MAPE=19%) y la  $[Cl^-]$  en sudor de todo el cuerpo ( $r^2=0.86$ , MAPE=13%) a partir de los datos de Gx Sweat Patch y otros factores relacionados con el individuo y su entrenamiento.
- Hay una fuerte relación entre la  $[Cl^-]$  del sudor de todo el cuerpo y la  $[Na^+]$  del sudor de todo el cuerpo ( $r^2=0.98$ ), lo que permite una predicción precisa de la  $[Na^+]$  en sudor utilizando el parche y la aplicación Gx.

En conclusión, la plataforma Gx es una herramienta validada que mejora la accesibilidad al análisis del sudor en entornos reales, con aplicaciones en atletismo competitivo y ejercicio recreativo en una amplia gama de condiciones.

## APLICACIONES PRÁCTICAS

- El parche de sudor Gx debe aplicarse en el antebrazo ventral izquierdo antes del ejercicio. Para obtener los datos del perfil de sudor, el atleta o profesional debe usar la Gx App o el micrositio desarrollado para LATAM ([www.gxsweatpatch.com](http://www.gxsweatpatch.com)) para tomar una imagen del Gx Sweat Patch mientras está todavía en la piel. La imagen debe tomarse después de completar la sesión de ejercicio o justo antes de que el micro canal naranja se llene durante el ejercicio, lo que ocurra primero.
- El tiempo mínimo de uso para obtener los resultados del perfil de sudor (es decir, hasta que el sudor de color sea visible) varía de ~20 min para altas tasas de sudoración a 60 min para bajas

tasas de sudoración. Para las personas que sudan demasiado, el tiempo máximo de uso antes de que los micro canales se llenen podría ser de alrededor de 60 minutos o menos.

- El Gx Sweat Patch se puede usar en la piel tatuada y durante una variedad de actividades y condiciones ambientales. Sin embargo, hay un mayor riesgo de que el parche se desprege cuando se usa durante deportes de alto contacto (por ejemplo, juegos de baloncesto).
- La Gx App genera recomendaciones personalizadas de ingesta de líquidos basadas en el perfil de sudor del usuario. El usuario debe seguir las recomendaciones para rehidratarse adecuadamente después del entrenamiento y/o durante su próximo entrenamiento de intensidad, duración y condiciones ambientales similares.

**El autor trabaja para el Gatorade Sports Science Institute, una división de PepsiCo R&D. Las opiniones expresadas son las del autor y no reflejan necesariamente la posición o política de PepsiCo, Inc.**

## REFERENCIAS

- Baker, L.B. (2017). Sweating rate and sweat sodium concentration in athletes: A review of methodology and intra/interindividual variability. *Sports Med*, 47(Suppl 1):111-128.
- Baker, L.B., C.T. Ungaro, B.C. Sopena, R.P. Nuccio, A.J. Reimel, J.M. Carter, J.R. Stofan, and K.A. Barnes (2018). Body map of regional versus whole body sweating rate and sweat electrolyte Concentrations in Men and Women during Moderate Exercise-Heat Stress. *J. Appl. Physiol.* 124:1304-1318.
- Baker, L.B., P.J.D. De Chavez, C.T. Ungaro, B.C. Sopena, R.P. Nuccio, A.J. Reimel, and L.A. Barnes (2019). Exercise intensity effects on total sweat electrolyte losses and regional vs. whole-body sweat  $[Na^+]$ ,  $[Cl^-]$ , and  $[K^+]$ . *Eur. J. Appl. Physiol.* 119:361-375.
- Baker, L.B., J.B. Model, K.A. Barnes, M.L. Anderson, S.P. Lee, K.A. Lee, S.D. Brown, A.J. Reimel, T.J. Roberts, R.P. Nuccio, J.L. Bonsignore, C.T. Ungaro, J.M. Carter, W. Li, M.S. Seib, J.T. Reeder, A.J. Aranyosi, J.A. Rogers, and R. Ghaffari (2020). Skin-interfaced microfluidic system with personalized sweating rate and sweat chloride analytics for sports science applications. *Sci. Adv.* 6:eabe3929.
- Baker, L.B., M.A. King, D.M. Keyes, S.D. Brown, M.D. Engel, M.S. Seib, A.J. Aranyosi, and R. Ghaffari (2022a). Sweating rate and sweat chloride concentration of elite male basketball players measured with a wearable microfluidic device versus the standard absorbent patch method. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 32:342-349.
- Baker, L.B., M.S. Seib, K.A. Barnes, S.D. Brown, M.A. King, P.J.D. De Chavez, S. Qu, J. Archer, A.S. Wolfe, J.R. Stofan, J.M. Carter, D.E. Wright, J. Wallace, D. Yang, S. Liu, J. Anderson, T. Fort, W. Li, J.A. Wright, . . . R. Ghaffari (2022b). Skin-interfaced microfluidic system with machine learning-enabled image processing of sweat biomarkers in remote settings. *Adv. Materials Tech.* 7(11) <https://doi.org/10.1002/admt.202200249>
- Barnes, K.A., M.L. Anderson, J.R. Stofan, K.J. Dalrymple, A.J. Reimel, T.J. Roberts, R.K. Randell, C.T. Ungaro, and L.B. Baker (2019). Normative data for sweating rate, sweat sodium concentration, and sweat sodium loss in athletes: An update and analysis by sport. *J. Sports Sci.* 37:2356-2366.
- Beliveau, J., M. Perreault-Briere, D. Jeker, T.A. Deshayes, A. Duran-Suarez, L.B. Baker, and E.D.B. Goulet (2020). Permanent tattooing has no impact on local sweat rate, sweat sodium concentration and skin temperature or prediction of whole-body sweat sodium concentration during moderate-intensity cycling in a warm environment. *Eur J Appl Physiol.* 120:1111-1122.
- Belval, L.N., Y. Hosokawa, D.J. Casa, W.M. Adams, L.E. Armstrong, L.B. Baker, L. Burke, S. Cheuvront, G. Chiampas, J. Gonzalez-Alonso, R.A. Huggins, S.A. Kavouras, E.C. Lee, B.P. McDermott, K. Miller, Z. Schlader, S. Sims, R.L. Stearns, C. Troyanos, and J. Wingo (2019). Practical hydration solutions for sports. *Nutrients* 11:1550.
- Branch, J.D. (2003). Effect of creatine supplementation on body composition and

- performance: a meta-analysis. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 13:198-226.
- Cheuvront, S.N., and R.W. Kenefick (2017). CORP: Improving the status quo for measuring whole body sweat losses (WBSL). *J. Appl. Physiol.* 123:632-636.
- Cooper, R., F. Naclerio, J. Allgrove, and A. Jimenez (2012). Creatine supplementation with specific view to exercise/sports performance: an update. *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 9:33.
- Coyle, E.F. (2004). Fluid and fuel intake during exercise. *J. Sports Sci.* 22:39-55.
- Dziedzic, C.E., M.L. Ross, G.J. Slater, and L.M. Burke (2014). Variability of measurements of sweat sodium using the regional absorbent patch method. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 5:832-838.
- Foster, C. (1998). Monitoring training in athletes with reference to overtraining syndrome. *Med. Sci. Sports Exerc.* 30:1164-1168.
- Hamouti, N., V.E. Fernandez-Elias, J.F. Ortega, and R. Mora-Rodriguez (2012). Ingestion of sodium plus water improves cardiovascular function and performance during dehydrating cycling in the heat. *Scand. J. Med. Sci. Sports.* 24:507-518.
- Hew-Butler, T., M.H. Rosner, S. Fowkes-Godek, J.P. Dugas, M.D. Hoffman, D.P. Lewis, R.J. Maughan, K.C. Miller, S.J. Montain, N.J. Rehrer, W.O. Roberts, I.R. Rogers, A.J. Siegel, K.J. Stuemple, J.M. Winger, and J.G. Verbals (2015). Statement of the 3rd international exercise-associated hyponatremia consensus development conference. *Br. J. Sports Med.* 49:1432-1446.
- Hultman, E., K. Soderlund, J.A. Timmons, G. Cederblad, and P.L. Greenhaff (1996). Muscle creatine loading in men. *J. Appl. Physiol.* 81:232-237.
- Keys, D.M., S.D. Brown, M.A. King, M.D. Engel, M. Ciciora-Gold, P.J.D. Chavez, and L.B. Baker (2022). Multiple regression analyses to determine the effect of sweating rate and tattoo characteristics on sweat outcome measures during exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.* 122:2163-2174.
- Lanhers, C., B. Pereira, G. Naughton, M. Trousselard, F.X. Lesage, and F. Dutheil (2017). Creatine supplementation and upper limb strength performance: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med.* 47:163-173.
- Lemon, P.W., K.E. Yarasheski, and D.G. Dolny (1986). Validity/reliability of sweat analysis by whole-body washdown vs. regional collections. *J. Appl. Physiol.* 61:1967-1971.
- Maughan, R.J., S.J. Merson, N.P. Broad, and S.M. Shirreffs (2004). Fluid and electrolyte intake and loss in elite soccer players during training. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 14:333-346.
- Maughan, R.J., L.M. Burke, J. Dvorak, D.E. Larson-Meyer, P. Peeling, S.M. Phillips, E.S. Rawson, N.P. Walsh, I. Garthe, H. Geyer, R. Meeusen, L.J.C. van Loon, S.M. Shirreffs, L.L. Spriet, M. Stuart, A. Vernec, K. Currell, V.M. Ali, R.G. Budgett, A. Ljungqvist, M. Mountjoy, Y.P. Pitsiladis, T. Soligard and L. Engebretsen, L. (2018). IOC consensus statement: dietary supplements and the high-performance athlete. *Br. J. Sports Med.* 52:439-455.
- McDermott, B.P., S.A. Anderson, L.E. Armstrong, D.J. Casa, S.N. Cheuvront, L. Cooper, W.L. Kenney, F.G. O'Connor, and W.O. Roberts (2017). National Athletic Trainers' Association position statement: Fluid replacement for the physically active. *J. Athl. Train.* 52:877-895.
- Morris, N.B., M.N. Cramer, S.G. Hodder, G. Havenith, and O. Jay (2013). A comparison between the technical absorbent and ventilated capsule methods for measuring local sweat rate. *J. Appl. Physiol.* 114:816-823.
- Peeling, P., M.J. Binnie, P.S.R. Goods, M. Sim, and L.M. Burke (2018). Evidence-based supplements for the enhancement of athletic performance. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 28:178-187.
- Rogers, E., C. Irwin, D. McCartney, G.R. Cox, and B. Desbrow (2019). Tattoos do not affect exercise-induced localised sweat rate or sodium concentration. *J. Sci. Med Sport.* 22:1249-1253.
- Sawka, M.N., L.M. Burke, E.R. Eichner, R.J. Maughan, S.J. Montain, and N.S. Stachenfeld (2007). American College of Sports Medicine position stand. Exercise and fluid replacement. *Med. Sci. Sports Exerc.* 39:377-390.
- Shirreffs, S.M., and R.J. Maughan (1997). Whole body sweat collection in humans: an improved method with preliminary data on electrolyte content. *J. Appl. Physiol.* 82:336-341.
- Shirreffs, S.M., and M.N. Sawka (2011). Fluid and electrolyte needs for training, competition, and recovery. *J. Sports Sci.* 29(Suppl 1):S39-S46.
- Spriet, L.L. (2014). Exercise and sport performance with low doses of caffeine. *Sports Med.* 44(Suppl 2): S175-S184.
- Thomas, D.T., K.A. Erdman, and L.M. Burke (2016). American College of Sports Medicine joint position statement. Nutrition and athletic performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 48:543-568.
- Verde, T., R.J. Shephard, P. Corey, and R. Moore (1982). Sweat composition in exercise and in heat. *J. Appl. Physiol.* 53:1540-1545.

## TRADUCCIÓN

Este artículo ha sido traducido y adaptado de: Baker, L.B. and Wolfe, A.S. (2022). Gx Sweat Patch and app for personalized hydration. *Sports Science Exchange Vol. 35, No. 234, 1-8*, por Lourdes Mayol Soto, M.Sc