



## EL PROCESO DE REPOSICIÓN DE LÍQUIDOS: PRINCIPIOS DE LA FORMULACIÓN DE BEBIDAS PARA ATLETAS

**Lindsay B. Baker, Ph.D**

Gatorade Sports Science Institute, Valhalla NY

### PUNTOS CLAVE

- La reposición de pérdidas de líquido durante/después del ejercicio es un proceso que involucra varios pasos, comenzando con el consumo de líquido, seguido por el vaciamiento gástrico, y culminando en la absorción de líquido al torrente sanguíneo y la distribución a los espacios de líquido intra y extracelular del cuerpo.
- La reposición adecuada de líquidos está influenciada en parte por la composición de la bebida, ya que la presencia de ciertos ingredientes (y los tipos/cantidades) puede facilitar u obstaculizar el proceso de rehidratación.
- La palatabilidad de las bebidas tiene un impacto sustancial en el consumo voluntario de líquidos. En general, los atletas prefieren líquidos fríos (~15°C) con sabor, electrolitos y edulcorantes ligeros, lo que aumenta la ingesta de líquidos.
- La presencia de sodio en una bebida puede promover el consumo de líquidos (sed y palatabilidad), la retención de líquidos de todo el cuerpo (reabsorción de agua renal) y la distribución de líquidos en el espacio extracelular (mantenimiento del volumen de plasma).
- Una pequeña cantidad de carbohidratos (por ej., 1-3%) en una bebida deportiva promueve la absorción de líquido intestinal. Las bebidas con alto contenido de carbohidratos ( $\geq 8\%$ ) pueden retrasar el suministro de líquidos. Sin embargo, la formulación con múltiples carbohidratos transportables (por ej., glucosa y fructosa) puede aumentar la tasa de vaciamiento gástrico y la absorción de líquidos intestinales de bebidas con altas concentraciones de carbohidratos.
- Durante la rehidratación post-ejercicio, la desaceleración de la aparición del líquido ingerido en la circulación a través de una mayor densidad energética de la bebida (por ejemplo, líquidos con carbohidratos, proteínas; o agua potable con las comidas) atenúa la diuresis y promueve la retención de líquidos.

### INTRODUCCIÓN

Durante el ejercicio intenso o prolongado pueden perderse volúmenes sustanciales de líquido como consecuencia de la sudoración termorreguladora (Barnes et al., 2019). En estas situaciones, los atletas necesitan beber durante/después del ejercicio para reponer los líquidos perdidos y evitar los posibles efectos negativos de la deshidratación (McDermott et al., 2017). Como se ilustra en la Figura 1, la reposición de líquidos es un proceso de varios pasos que involucra una serie de sistemas fisiológicos. El proceso incluye el consumo de líquidos, el suministro de líquidos al torrente sanguíneo (a través del vaciamiento gástrico y la absorción intestinal), la distribución dentro de los compartimentos de líquidos del cuerpo (por ej., para el mantenimiento del volumen de plasma) y la retención de líquidos de todo el cuerpo (a través de la reabsorción de agua renal). La reposición adecuada de líquidos está influenciada por la composición de las bebidas, ya que ciertos ingredientes pueden facilitar o dificultar uno o más pasos en el proceso de rehidratación (Baker & Jeukendrup, 2014). El propósito de este artículo de Sports Science Exchange (SSE) es proporcionar una visión general de los principios científicos de la reposición de líquidos y discutir el papel de la formulación de bebidas (carbohidratos, electrolitos, sabor y otros ingredientes o factores) en el proceso de rehidratación.

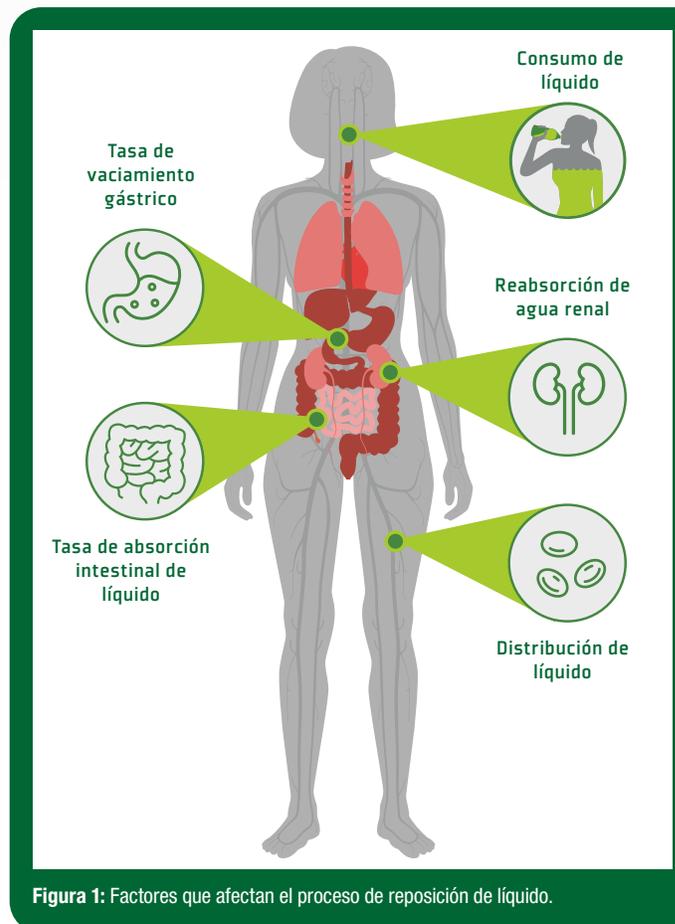


Figura 1: Factores que afectan el proceso de reposición de líquido.

## Factores que influyen en el consumo de líquido



Figura 2: Factores que influyen en el consumo de líquido.

### CONSUMO DE LÍQUIDOS

El primer paso en la rehidratación es el acto de beber agua u otros líquidos. Esto puede sonar simple, pero como se muestra en la Figura 2, el consumo de líquidos es en realidad muy complejo y está dictado por múltiples mecanismos (Adolph et al., 1954). La sed fisiológica (o reguladora) se estimula en respuesta a la deshidratación celular (hiperosmolalidad) e hipohidratación extracelular (hipovolemia). Sin embargo, el consumo *ad libitum* o voluntario de líquidos también está influenciado por una compleja interacción de otros numerosos factores no reguladores. Estos incluyen la percepción de sed, influencias sociales, preferencias culturales y factores relacionados con las bebidas (Baker & Jeukendrup, 2014; Passe, 2001). Como se discute en la siguiente sección, la composición de la bebida puede afectar el consumo de líquidos a través de sus efectos sobre la sed fisiológica (por ej., a través del consumo de sodio) así como la palatabilidad de la bebida (por ej., a través de propiedades organolépticas como sabor, dulzura, salinidad y temperatura).

### Palatabilidad de las bebidas

El sabor, la dulzura y los electrolitos pueden ayudar a mejorar la palatabilidad de las bebidas (es decir, el gusto y la aceptabilidad) y aumentar el consumo de líquidos *ad libitum* durante el ejercicio en comparación con el agua. Esto se ha demostrado en jóvenes y adultos, sujetos masculinos y femeninos, y en el campo durante las sesiones de entrenamiento, así como en condiciones de laboratorio controladas (Minehan et al., 2002; Passe et al., 2000; 2004; Rivera-Brown et al., 1999; Wilk & Bar-Or, 1996). Por ejemplo, durante el ejercicio intermitente en el calor, el consumo de líquidos de niños de 9-12 años de edad fue más alto con una bebida de 6% de carbohidratos y electrolitos con sabor a uva, seguida de agua con sabor a uva y luego agua sin sabor. Los niños experimentaron hipohidratación leve con agua, pero mantuvieron la hidratación cuando se agregaron al agua sabor y/o dulzura/electrolitos (Wilk & Bar-Or, 1996). Del mismo modo, en un estudio realizado con deportistas elite junior de netball

y baloncesto, se logró un mejor equilibrio de líquidos con bebidas saborizadas (soluciones de 1% y 6.8% de carbohidratos y electrolitos) en comparación con el agua durante las sesiones de entrenamiento (Minehan et al., 2002).

Aunque las calificaciones hedónicas son generalmente más altas para las bebidas saborizadas/ endulzadas, algunos estudios han encontrado un impacto mínimo en el consumo de líquidos *ad libitum* (Rivera-Brown et al., 2008; Taim et al., 2021). Además, algunos estudios han encontrado que el consumo *ad libitum* de agua sin sabor fue suficiente para reponer las pérdidas de sudor durante el ejercicio (Baker et al., 2005; Wilk et al., 2007). La inconsistencia en los resultados podría deberse a diversos factores relacionados con el diseño del estudio, el ejercicio y las condiciones ambientales, entre otros factores. También es importante tener en cuenta que la percepción y aceptabilidad del sabor de la bebida, dulzura, acidez, sensación en la boca y post gusto son modificados por la actividad física (Murray & Stofan, 2001), ya que ciertos sabores o atributos pueden ser más aceptables durante el ejercicio que en reposo (Passe et al., 2000).

La temperatura de las bebidas también tiene un impacto sustancial en la palatabilidad y el consumo voluntario de líquidos. Durante el ejercicio en condiciones templadas a calientes, la palatabilidad y el consumo de líquidos parecen maximizarse cuando la temperatura de la bebida es fresca (15°C), seguida de fría (0-7°C), luego templada (22°C); mientras que las bebidas calientes son las menos apetecibles (32-46°C) (Burdon et al., 2012). Ningún estudio que el autor sepa ha investigado la temperatura del líquido, la palatabilidad y el consumo de líquidos durante el ejercicio en ambientes fríos.

### Electrolitos

Además de sus efectos sobre la palatabilidad de las bebidas, los electrolitos (particularmente el sodio) estimulan el impulso fisiológico a beber (Nose et al., 1988). Esto se debe a que el consumo de

sodio aumenta la concentración de sodio en el plasma y, a su vez, la osmolalidad del plasma. La información sensorial de los osmorreceptores con respecto a la tonicidad del plasma se aviva en las regiones superiores del cerebro para estimular la sed. La presencia de cantidades bajas a moderadas de sodio (por ejemplo, 18-40 mmol/L) mejora la palatabilidad de las bebidas y aumenta el consumo de líquidos *ad libitum* (Clapp et al., 2000; Passe, 2001; Wemple et al., 1997). Por otro lado, el consumo de agua pura disminuye la osmolalidad del plasma y la concentración de sodio, lo que reduce el impulso de beber (Nose et al., 1988). Sin embargo, la palatabilidad y el consumo voluntario de líquidos pueden disminuir con altas concentraciones de sodio en las bebidas (50 mmol/L) (Passe, 2001; Wemple et al., 1997). En estos casos, otros aniones (como el citrato) podrían usarse en lugar de cloruro (el anión típico con sodio) para disminuir la salinidad de las bebidas (Shirreffs, 2003).

### ENTREGA DE LÍQUIDOS - VACIAMIENTO GÁSTRICO Y ABSORCIÓN DE LÍQUIDOS EN EL INTESTINO

El segundo paso importante en la rehidratación es la entrega de líquido al torrente sanguíneo. Este proceso implica tanto el vaciamiento de líquido del estómago como el transporte de agua a través del epitelio intestinal (Figura 3). El vaciamiento gástrico de líquidos está regulado por la interacción del volumen gástrico y la inhibición de la retroalimentación relacionada con el contenido de nutrientes del intestino delgado. Como tal, el vaciamiento gástrico puede ocurrir a una velocidad máxima de hasta ~15-20 mL/min (~1 L/h) manteniendo un alto volumen gástrico con el consumo de agua o una solución diluida de carbohidratos (Costill & Saltin, 1974; Lambert et al., 2012).

Después de salir del estómago, la absorción de agua y solutos se produce principalmente en el intestino delgado proximal (duodeno y yeyuno). La absorción de soluto (por ej., carbohidratos y sodio) de la luz intestinal se produce por difusión a lo largo de gradientes electroquímicos y por mecanismos de transporte específicos en la

membrana del borde del cepillo de las células epiteliales intestinales. Por otro lado, la absorción de agua es un proceso pasivo, dependiente de un gradiente osmótico que se crea por la absorción de solutos - es decir, el agua sigue al soluto (Murray & Shi, 2006).

Las tasas de vaciamiento gástrico y absorción de líquido intestinal se ven afectadas por varios tipos de factores estresantes. Por ejemplo, una deshidratación  $\geq 3\%$  y estrés por calor afectan el vaciamiento gástrico (Neufer et al., 1989; Rehner et al., 1990) e intensidades de ejercicio superiores a ~70-75% de  $VO_{2max}$  disminuyen el vaciamiento gástrico y la absorción de agua intestinal (Costill & Saltin, 1974).

Varios aspectos de la composición de las bebidas pueden tener un impacto significativo en el vaciamiento gástrico y/o la absorción de líquidos y se discutirá a continuación.

### Carbohidratos

Dado que el agua sigue al soluto, es importante su presencia (particularmente carbohidratos) para estimular la absorción de agua. En consecuencia, la formulación de la Organización Mundial de la Salud para soluciones de rehidratación oral (SRO) destinada a pacientes con enfermedad diarreica incluye una pequeña cantidad de glucosa (1.35%) debido a que el co-transporte de glucosa y sodio (a través del transportador de enlace sodio-glucosa (SGLT1)) acelera la absorción de agua en el intestino delgado (Atia y Buchman, 2009). Además, en estudios con individuos sanos se ha encontrado que la presencia de 1-3% de carbohidratos en una bebida deportiva mejora la tasa de entrega de líquidos en comparación con las soluciones libres de carbohidratos (Jeukendrup et al., 2009; Rowlands et al., 2022).

Aunque los carbohidratos juegan un papel importante en la estimulación de la absorción de agua, la presencia de carbohidratos en altas concentraciones puede llevar a una disminución de los ingresos. En general, las bebidas con alta densidad energética resultan en una tasa más lenta de vaciamiento gástrico y entrega

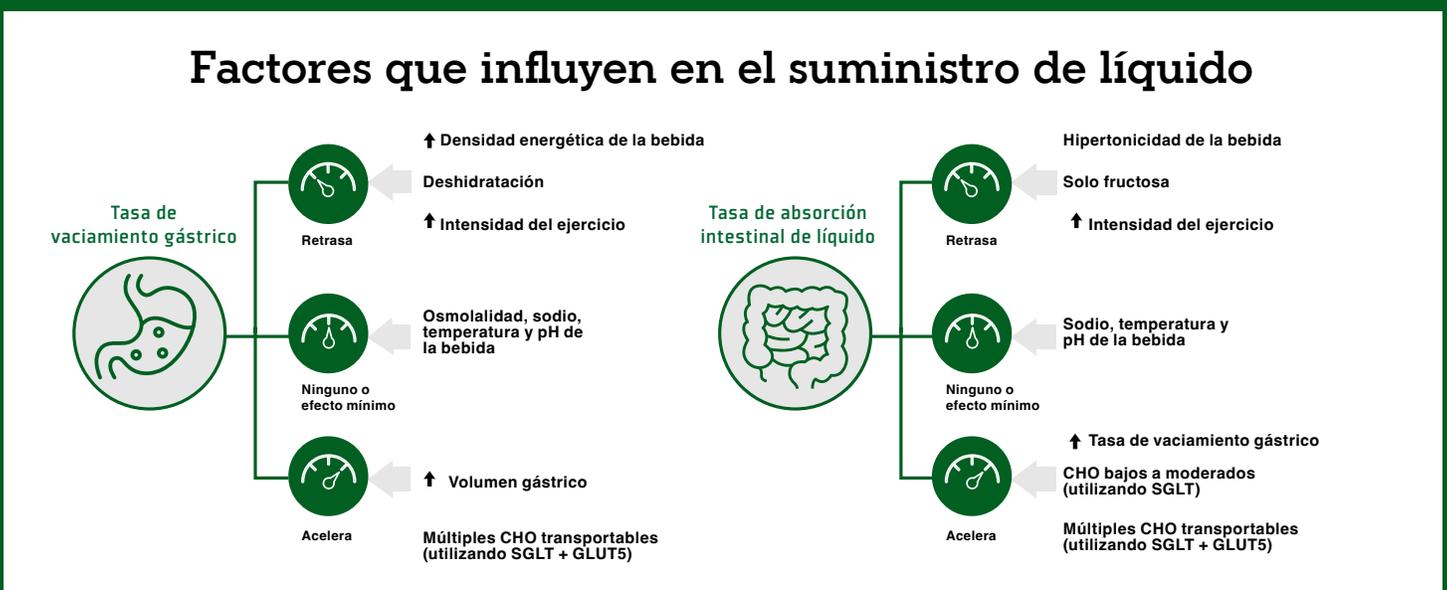


Figura 3: Factores que influyen en el suministro de líquidos. CHO, carbohidratos; SGLT, transportador de enlace de sodio-glucosa; GLUT 5, transportador de glucosa 5.

de líquidos (Brouns et al., 1995; Evans et al., 2011; Jeukendrup et al., 2009). Por ejemplo, se ha encontrado que las bebidas con solución de carbohidratos al 8% disminuyen la tasa de vaciamiento gástrico y aumentan la incomodidad gastrointestinal en comparación con el agua (Murray et al., 1999; Rehrer et al., 1992; Shi et al., 2004). Además, hay una relación inversamente significativa entre la osmolalidad de las bebidas (que está determinada principalmente por la concentración de carbohidratos) y la absorción de líquidos intestinales (Rowlands et al., 2022; Shi & Passe, 2010). Sin embargo, como se explica con más detalle a continuación, la formulación con múltiples carbohidratos transportables puede aumentar la tasa de vaciamiento gástrico y la absorción de líquidos intestinales de bebidas con altas concentraciones de carbohidratos (Jeukendrup & Moseley, 2010; Shi et al., 1995; 2000).

El tipo de carbohidrato en una bebida deportiva afecta la tasa de absorción de soluto y líquido intestinal porque los diferentes tipos de carbohidratos se transportan a través de enterocitos por medio de diferentes mecanismos. Por ejemplo, una solución que solo contiene glucosa (transportada activamente a través del transportador SGLT1) se absorbe más rápido que una solución que solo contiene fructosa (difusión facilitada a través del transportador de glucosa 5 (GLUT-5)). Sin embargo, una bebida con múltiples carbohidratos transportables (por ejemplo, glucosa y fructosa) aumenta la absorción de solutos y agua en comparación con soluciones con un solo carbohidrato transportable (Jentjens et al., 2006; Shi & Passe, 2010). La sacarosa puede hidrolizarse en glucosa y fructosa o utilizar su propio transportador disacárido/sacarosa (SCRT) (Ferraris & Diamond, 1997). Además, el tipo de carbohidrato afecta significativamente la osmolalidad de una bebida, como la maltodextrina que tiene menor osmolalidad que los mono- y disacáridos.

### Electrolitos

Aunque está bien establecido que el sodio es importante para el transportador SGLT1 de sustrato y flujo de agua a través de los enterocitos, se ha encontrado que el sodio de la bebida juega solo un papel menor en la absorción de líquidos intestinales. Esto es probablemente porque el sodio está fácilmente disponible a través de las secreciones intestinales (Gisolfi et al., 1995). Se dispone de información limitada sobre los efectos de otros electrolitos en el suministro de líquidos. En un estudio se reportó una absorción intestinal más rápida cuando el anión conjugado de sodio era cloruro comparado con bicarbonato o sulfato (Fordtran, 1975); sin embargo, se necesita más investigación para otras comparaciones de aniones.

### Proteína

La proteína contribuye a la densidad de energía de una bebida y por lo tanto puede tener un impacto significativo en la tasa de vaciamiento gástrico y la entrega de líquido a la circulación. Además, la coagulación de la caseína en el estómago a partir de productos lácteos retrasa aún más el vaciamiento gástrico y ralentiza la absorción de líquidos intestinales en comparación con las bebidas energéticas con proteína de suero de leche (Calbet & Holst, 2004) o glucosa (Burn-Murdoch et al., 1978). Si bien la inclusión de proteína reduce la tasa de

vaciamiento gástrico y la absorción de líquidos intestinales, este retraso en la entrega de líquido a la circulación puede ser ventajoso para la retención de líquidos durante la rehidratación posterior al ejercicio (consulte a continuación la sección “Distribución y retención de líquidos”).

### Aminoácidos

Los aminoácidos han sido investigados por sus efectos sobre el agua intestinal y la absorción de solutos, principalmente en el contexto de la rehidratación oral para la enfermedad diarreica. Esto se debe a que los aminoácidos como la glicina, la alanina, la L-glutamina y la L-arginina se transportan activamente a través del intestino (a través de transportadores acoplados de sodio separados de SGLT-1), lo que a su vez se cree que aumenta el flujo de agua en el torrente sanguíneo (Wapnir et al., 1997). La mayoría de los estudios hasta la fecha no han encontrado ninguna ventaja de los SRO basados en aminoácidos sobre los SRO basados en glucosa en pacientes con diarrea que se rehidratan (Bhan et al., 1994; Gutiérrez et al., 2007), aunque este es un área de investigación continua (Das et al., 2022). Además, ningún estudio ha medido la eficacia de soluciones basadas en aminoácidos en las tasas de absorción de líquidos intestinales en seres humanos sanos durante/después del ejercicio. Así, se necesita más investigación para comprender mejor los efectos de los aminoácidos en la entrega de líquidos, especialmente con respecto a las bebidas de rehidratación para los atletas.

### Otras características de la bebida

Otros factores que se cree que afectan la entrega de líquidos incluyen la temperatura y el pH de la bebida. Algunos estudios han encontrado diferencias significativas en las tasas de vaciamiento gástrico entre las bebidas frías (4-5°C) y las calientes/calientes (35-50°C), pero solo en los primeros ~5-15 min después de su consumo. Además, el efecto es inconsistente con algunos estudios que encontraron que las bebidas frías se vacían más rápido (Costill & Saltin, 1974) y otros que reportan tasas de vaciamiento gástrico más rápidas con bebidas calientes (Lambert & Maughan, 1992). Aún así, no hay efecto de la temperatura de la bebida en las tasas generales de vaciamiento gástrico o absorción de líquido intestinal. Esto es probablemente porque la temperatura intragástrica se equilibra rápidamente con la temperatura corporal central después del consumo de líquidos. Del mismo modo, el pH del estómago y el contenido luminal intestinal están mínimamente afectados por los niveles de acidez presentes en la mayoría de las bebidas y, por lo tanto, es poco probable que el pH de las bebidas influya en la entrega de líquidos (Leiper, 2015).

### DISTRIBUCIÓN Y RETENCIÓN DE LÍQUIDOS

Una vez que el líquido ingerido se absorbe en la circulación, se distribuye a los compartimentos de líquidos intracelulares y extracelulares de acuerdo con los gradientes osmóticos. El mantenimiento del volumen extracelular, particularmente el volumen plasmático, es importante para la función cardiovascular y termorreguladora. Para mantener el volumen de plasma y el equilibrio general de líquidos de todo el cuerpo, es importante que el líquido ingerido se retenga en el cuerpo en lugar de perderlo por la orina. Hay dos maneras principales de

atenuar la diuresis y promover la retención de líquidos: 1) estimulando la reabsorción de agua renal (por ej., a través de sodio) y/o 2) al ralentizar la aparición del líquido ingerido en la circulación (por ej., a través de una mayor densidad de energía en las bebidas) (Baker y Jeukendrup, 2014). La composición de la bebida puede tener un efecto significativo en la distribución y retención de líquidos (Figura 4) durante el ejercicio y especialmente en reposo. Durante el ejercicio dinámico moderado a pesado, la producción de orina disminuye en un 50-70% debido a la disminución de la tasa de filtración glomerular y el flujo sanguíneo renal mediado por un aumento de la vasoconstricción renal (Zambraski, 2012). Por lo tanto, la mayoría de los estudios que miden los efectos de la composición de la bebida sobre la retención de líquidos se llevan a cabo antes o después del ejercicio.

Antes del ejercicio, el objetivo es comenzar el entrenamiento en un estado euhidratado. Después del ejercicio en el que el atleta ha incurrido en un déficit de masa corporal, el objetivo es beber para reponer las pérdidas de sudor y restaurar el equilibrio de los líquidos corporales. La rehidratación rápida y completa después del ejercicio es importante si el atleta participa en una sesión de entrenamiento o juego dentro del mismo día o en <24 h. Cuando hay 24 h entre sesiones de ejercicio, se puede consumir la cantidad adecuada de líquido con las prácticas normales de alimentación e hidratación (es decir, *ad libitum*) (Shirreffs y Sawka, 2011).

## Electrolitos

Los iones más activos osmóticamente en los compartimentos de líquidos intracelulares y extracelulares son el potasio y el sodio, respectivamente. Dado a que el líquido extracelular es el precursor para las secreciones de las glándulas sudoríparas, el sudor está compuesto principalmente de agua salada (concentraciones de sodio y cloruro de ~10-90 mmol/L) mientras que las concentraciones de potasio son mucho más bajas (~2-6 mmol/L) (Barnes et al., 2019). El sodio y el potasio a menudo se incluyen en las bebidas deportivas

para ayudar a reponer las pérdidas debidas a la sudoración. Sin embargo, hay algunas diferencias en cómo estos dos electrolitos pueden afectar la distribución y la retención de líquidos.

No hay discusión de que la inclusión de sodio puede tener un impacto significativo en la distribución y la retención de líquidos. El aumento de la concentración de sodio en sangre y la osmolalidad con el consumo de sodio estimula la reabsorción de agua renal y por lo tanto disminuye la producción de orina. La mayoría de los estudios sugieren que la retención de líquidos se mejora significativamente al tomar una bebida con una concentración de sodio de ~20-30 mmol/L en comparación con bebidas sin sodio o muy bajas en sodio (Gonzalez-Alonso et al., 1992; Maughan & Leiper, 1995; Maughan et al., 2019; Perez-Idarraga & Aragon-Vargas, 2014). Además, en algunos estudios se ha encontrado una relación lineal directa entre la concentración de sodio en las bebidas y la retención de líquidos (Maughan & Leiper, 1995; Shirreffs & Maughan, 1998). Por ejemplo, Maughan y Leiper (1995) encontraron que el porcentaje de líquido retenido aumentó progresivamente a medida que la concentración de sodio en las bebidas aumentó de 2 mmol/L a 26 mmol/L a 52 mmol/L a 100 mmol/L. Además, debido a que el sodio es el principal catión extracelular, el consumo de una bebida con sodio promueve la retención de líquidos en el espacio vascular, lo que puede conducir a un mejor mantenimiento o restauración del volumen de plasma durante o después del ejercicio (Gonzalez-Alonso et al., 1992; Hamouti et al., 2014).

Dado que el potasio es un osmolito intracelular, se cree que su consumo puede promover la retención general de agua mediante la regulación del nivel de líquido intracelular. Sin embargo, en los estudios que han investigado los efectos de las bebidas que contienen potasio sobre la retención de líquidos se han encontrado resultados mixtos. Por ejemplo, Maughan et al. (1994) informaron que el consumo de una bebida de 25 mmol/L de potasio redujo la producción de orina durante la rehidratación post-ejercicio en comparación con

## Factores que influyen en la distribución y retención de líquido

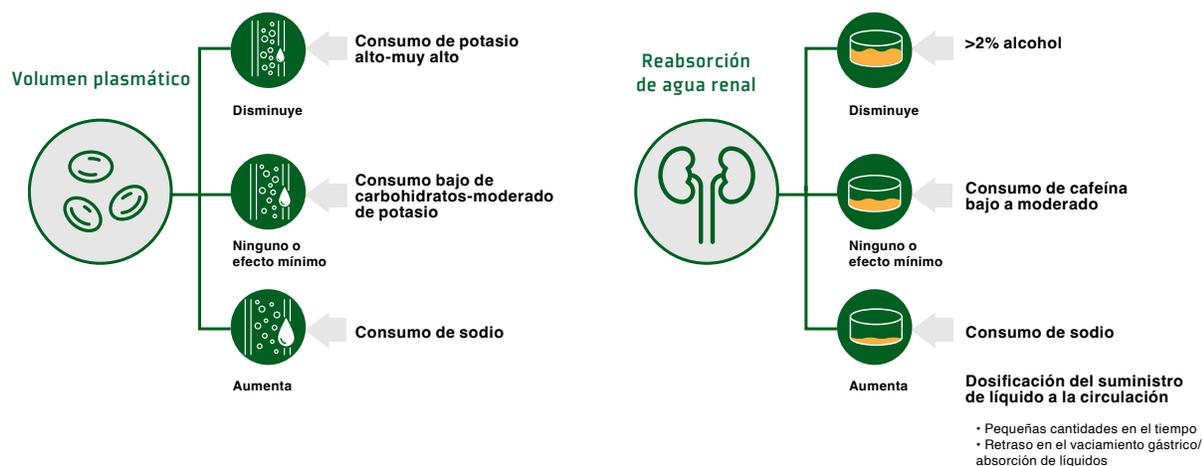


Figura 4: Factores que influyen en la distribución y retención de líquido.

una bebida control sin electrolitos. Sin embargo, Shirreffs et al. (2007) no encontraron diferencia en la rehidratación post-ejercicio entre una bebida con 30 mmol/L de potasio y agua mineral. El agua de coco fresca, que es naturalmente alta en potasio (~50 mmol/L), también se ha estudiado por su efecto en la retención de líquidos después del ejercicio. Una vez más, los resultados han sido inconsistentes, con aproximadamente la mitad de los estudios que muestran que el agua de coco resulta en una mejor retención de líquidos, mientras que la otra mitad no reportó diferencias en comparación con el agua simple (Aragon-Vargas, 2016).

Es importante destacar que se ha demostrado en varios estudios que la tasa de recuperación del volumen plasmático durante la rehidratación posterior al ejercicio es más lenta con las bebidas sin sodio y con alto contenido de potasio (25-51 mmol/L) que las bebidas control. Esta observación sugiere que la restauración del volumen intracelular ocurre a expensas del espacio extracelular cuando se consumen bebidas sin sodio con alto contenido de potasio (Maughan et al., 1994; Nielsen et al., 1986; Shirreffs et al., 2007). Una restauración más lenta del volumen del plasma podría tener implicaciones cardiovasculares/termorreguladoras significativas para los atletas cuya próxima práctica o competencia es dentro del mismo día, especialmente si hacen ejercicio en un ambiente caluroso.

### Carbohidratos

Las bebidas de reposición de líquidos para atletas a menudo incluyen carbohidratos para complementar los abastecimientos de energía antes del ejercicio o ayudar a reponer las reservas de glucógeno después del ejercicio. Varios estudios publicados en la última década sugieren que los carbohidratos también pueden ayudar a promover la retención de líquidos. Específicamente, se ha demostrado que las soluciones de carbohidratos que van del 6% al 12% promueven una mayor retención de líquidos en comparación con las soluciones placebo sin carbohidratos con el mismo contenido de electrolitos, en un estado euhydratado y descansado (Maughan et al., 2019), así como la rehidratación posterior al ejercicio (Evans et al., 2009; Kamijo et al., 2012; Osterberg et al., 2010).

Las soluciones de carbohidratos altamente concentradas (por ej., 10-12%) podrían afectar la retención de líquidos al retrasar el vaciamiento gástrico o la absorción intestinal (debido al aumento de la densidad de energía y/o osmolalidad de las bebidas con carbohidratos más altos), lo que retrasaría efectivamente la aparición de líquido en la circulación. El retraso en la absorción de líquidos y/o la mayor osmolalidad plasmática provocada por la bebida de carbohidratos atenuaría la excreción de agua renal (Baker & Jeukendrup, 2014). Otros mecanismos propuestos, particularmente con respecto a los beneficios de retención de líquidos de soluciones de carbohidratos menos concentrados (por ej., 6%), incluyen un aumento mediado por insulina en la reabsorción renal de sodio y agua (Kamijo et al., 2012). Sin embargo, se necesita más trabajo para dilucidar los mecanismos exactos involucrados y sus contribuciones relativas para mejorar la retención de líquidos.

### Proteína

La proteína se incluye a menudo en bebidas de reposición de líquidos después del ejercicio para promover la síntesis de proteína muscular y

así ayudar en el proceso de recuperación después de la actividad física. La investigación sugiere que la proteína, especialmente la proteína de la leche, también puede desempeñar un papel en la mejora de la retención de líquidos en individuos euhydratados en reposo (Maughan et al., 2016) o durante la rehidratación post-ejercicio (Evans et al., 2017). Por ejemplo, en múltiples estudios se ha reportado una mayor retención de líquidos con bebidas que contienen proteínas de leche y carbohidratos en comparación con bebidas con la misma cantidad de energía que solo contienen carbohidratos (James et al., 2019). Del mismo modo, Seifert y colaboradores (2006) encontraron una mayor retención de líquidos con la adición de 1.5% de proteína de suero de leche a una bebida al 6% de carbohidratos-electrolitos. Sin embargo, otros estudios no han reportado ningún efecto de la proteína de suero de leche sobre la retención de líquidos durante la rehidratación post-ejercicio (Evans et al., 2017). Los hallazgos inconsistentes con los estudios de proteína de suero de leche no están claros, pero pueden estar relacionados con diferencias en el volumen relativo de consumo de líquidos. Los sujetos consumieron un volumen equivalente al 100% de la pérdida de masa corporal en el estudio de Seifert en comparación con el 150% de reposición en los otros estudios, sin encontrar ningún efecto de la proteína de suero de leche sobre la retención de líquidos (Evans et al., 2017). Como se discutió anteriormente, los mecanismos potenciales por los cuales las bebidas que contienen proteína pueden afectar la retención de líquidos parecen estar relacionados con una desaceleración de la tasa general de suministro de líquidos a la circulación. Un retraso en la entrada de líquido en el torrente sanguíneo retrasaría la reducción de la osmolalidad sérica y, por lo tanto, prolongaría el estímulo para la reabsorción de agua renal (Evans et al., 2017).

### RESUMEN Y APLICACIONES PRÁCTICAS

La reposición de pérdidas de líquido durante/después del ejercicio es un proceso que involucra varios pasos, comenzando con el consumo de líquido y culminando en la absorción de líquido en el torrente sanguíneo, donde finalmente se distribuye en los espacios de líquido intra y extracelular del cuerpo. La reposición adecuada de líquidos está influenciada en parte por la composición de la bebida, ya que la presencia de ciertos ingredientes (y los tipos/cantidades) puede facilitar o dificultar el proceso de rehidratación. Además del agua, los ingredientes más importantes a considerar en una bebida de rehidratación son los carbohidratos, los electrolitos y el sabor. Asimismo, el momento del consumo de líquidos, así como otros objetivos nutricionales (por ejemplo, el suministro de energía durante el ejercicio o la síntesis de proteína después del ejercicio), son factores importantes a considerar al determinar la bebida de reposición de líquidos adecuada para los atletas.

#### Durante el ejercicio

La disponibilidad de líquidos palatables/preferidos es el primer paso, y quizás el más importante, en el proceso de reposición de líquidos para asegurar una rehidratación adecuada durante el ejercicio. Si bien las preferencias individuales pueden variar, en general los líquidos frescos (~15°C), ligeramente endulzados con saborizantes y electrolitos son preferidos por los atletas y conducen a un aumento del consumo de líquidos.

El sodio es el ion osmóticamente más activo en el líquido extracelular y el electrolito principal perdido es el sudor. Por lo tanto, el sodio es el electrolito clave para consumir durante el ejercicio cuando el objetivo es la reposición de las pérdidas de líquido por sudor, el mantenimiento del equilibrio electrolítico y la restauración del volumen plasmático.

La cantidad y el tipo de carbohidrato en una bebida juegan un papel muy importante en la rehidratación durante el ejercicio. Además, dependiendo de la meta del atleta o de las condiciones ambientales/ de ejercicio, también puede ser necesario considerar la provisión de energía.

- Cuando la rehidratación es la prioridad, se prefieren formulaciones con menor contenido de carbohidratos y osmolalidad más baja para la entrega rápida de líquido a la circulación.
- Cuando son importantes tanto la provisión de energía como la reposición de líquidos, la bebida óptima se formularía para entregar nutrientes al cuerpo sin impedir el vaciamiento gástrico y la absorción intestinal de agua.
- Sin embargo, cuando las tasas de sudoración son bajas (por ejemplo, clima frío) o son necesarias altas tasas de aporte de carbohidratos (por ejemplo, >2 h de ejercicio) pueden ser aceptables bebidas más concentradas (Jeukendrup, 2010). El lector se refiere a otras revisiones que discuten la idea de las compensaciones potenciales entre carbohidratos y el consumo de líquidos durante el ejercicio (Coyle & Montain, 1992).

### Antes/Después del Ejercicio

Las dos formas principales por las que la composición de las bebidas puede atenuar la diuresis y promover la retención de líquidos son estimulando la reabsorción de agua renal (por ejemplo, a través de sodio) y/o ralentizando la aparición del líquido ingerido en la circulación (por ejemplo, a través de una mayor densidad de energía de bebidas). Sin embargo, los atletas deben considerar la duración entre las sesiones de ejercicio al decidir la composición más apropiada de una bebida de reposición de líquidos.

- Si el atleta está significativamente deshidratado y la próxima sesión de entrenamiento o juego es dentro de unas pocas horas, se necesita una rehidratación rápida. En estas situaciones, los atletas deben beber líquido que contenga sodio (con densidad de energía relativamente baja) para promover la retención de líquidos y la restauración del volumen de plasma sin retrasar la entrega de líquidos a la circulación. Es posible que los líquidos con gran densidad de energía no sean adecuados cuando se necesita una rehidratación rápida, ya que el retraso en el vaciamiento gástrico podría causar problemas gastrointestinales durante el ejercicio posterior.
- La leche u otras bebidas densas en energía a base de carbohidratos/proteínas son bebidas de rehidratación efectivas cuando hay varias horas entre las sesiones de ejercicio. Otra forma práctica de ayudar a atenuar la diuresis durante la rehidratación es beber agua en combinación con alimentos, si

hay tiempo suficiente para digerir un refrigerio/comida antes de la próxima sesión de ejercicio (Evans et al., 2017).

En cuanto a la eficacia de rehidratación de componentes de bebidas comunes consumidas a lo largo del día, el consumo moderado de cafeína (hasta 400 mg) no afecta el balance general de líquidos (Maughan et al., 2019). Por otro lado, las bebidas con >2% de alcohol pueden afectar la rehidratación porque estimulan la diuresis (Evans et al., 2017).

El autor trabaja para el Gatorade Sports Science Institute, una división de Pepsico R&D. Las opiniones expresadas pertenecen a los autores y no reflejan necesariamente la posición o política de PepsiCo, Inc.

### REFERENCIAS

- Adolph, E.F., J.P. Barker, and P.A. Hoy (1954). Multiple factors in thirst. *Am. J. Physiol.* 178:538-562.
- Aragon-Vargas, L.F. (2016). Need of other elements. In: F. Meyer, Z. Szygula, & B. Wilk (Eds.). *Fluid Balance, Hydration, and Athletic Performance*. Taylor and Francis Group, LLC. pp. 397-425.
- Atia, A.N., and A.L. Buchman (2009). Oral rehydration solutions in non-cholera diarrhea: a review. *Am. J. Gastroenterol.* 104:2596-2604.
- Baker, L.B., and A.E. Jeukendrup (2014). Optimal composition of fluid-replacement beverages. *Compr. Physiol.* 4:575-620.
- Baker, L.B., T.A. Munce, and W.L. Kenney (2005). Sex differences in voluntary fluid intake by older adults during exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 37:789-796.
- 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.
- Bhan, M.K., D. Mahalanabis, O. Fontaine, and N.F. Pierce (1994). Clinical trials of improved oral rehydration salt formulations: a review. *Bull. World Health Organ.* 72:945-955.
- Brouns, F., J. Senden, E.J. Beckers, and W.H. Saris (1995). Osmolarity does not affect the gastric emptying rate of oral rehydration solutions. *J. Parenter. Enteral. Nutr.* 19:403-406.
- Burdon, C.A., N.A. Johnson, P.G. Chapman, and H.T. O'Connor (2012). Influence of beverage temperature on palatability and fluid ingestion during endurance exercise: a systematic review. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 22:199-211.
- Burn-Murdoch, R.A., M.A. Fisher, and J.N. Hunt (1978). The slowing of gastric emptying by proteins in test meals. *J. Physiol.* 274:477-485.
- Calbet, J.A., and J.J. Holst (2004). Gastric emptying, gastric secretion and enterogastrone response after administration of milk proteins or their peptide hydrolysates in humans. *Eur. J. Nutr.* 43:127-139.
- Clapp, A.J., P.A. Bishop, J.F. Smith, and E.R. Mansfield (2000). Effects of carbohydrate-electrolyte content of beverages on voluntary hydration in a simulated industrial environment. *AlHaj*, 61:692-699.
- Costill, D.L., and B. Saltin (1974). Factors limiting gastric emptying during rest and exercise. *J. Appl. Physiol.* 37:679-683.
- Coyle, E., and S.J. Montain (1992). Carbohydrate and fluid ingestion during exercise: are there trade-offs? *Med. Sci. Sports Exerc.* 24:671-678.
- Das, R., R.A. Sobi, A.A. Sultana, B. Nahar, P.K. Bardhan, L. Luke, O. Fontaine, and T. Ahmed (2022). A double-blind clinical trial to compare the efficacy and safety of a multiple amino acid-based ORS with the standard WHO-ORS in the management of non-cholera acute watery diarrhea in infants and young children: "VS002A" trial protocol. *Trials* 23:706.
- Evans, G.H., S.M. Shirreffs, and R.J. Maughan (2009). Postexercise rehydration in man: the effects of osmolality and carbohydrate content of ingested drinks. *Nutrition* 25:905-913.
- Evans, G.H., S.M. Shirreffs, and R.J. Maughan (2011). The effects of repeated ingestion of

- high and low glucose-electrolyte solutions on gastric emptying and blood 2H<sub>2</sub>O concentration after an overnight fast. *Br. J. Nutr.* 106:1732-1739.
- Evans, G.H., L.J. James, S.M. Shirreffs, and R.J. Maughan (2017). Optimizing the restoration and maintenance of fluid balance after exercise-induced dehydration. *J. Appl. Physiol.* 122:945-951.
- Ferraris, R.P., and J. Diamond (1997). Regulation of intestinal sugar transport. *Physiol. Rev.* 77:257-302.
- Fordtran, J.S. (1975). Stimulation of active and passive sodium absorption by sugars in the human jejunum. *J. Clin. Invest.* 55:728-737.
- Gisolfi, C.V., R.D. Summers, H.P. Schedl, and T.L. Bleiler (1995). Effect of sodium concentration in a carbohydrate-electrolyte solution on intestinal absorption. *Med. Sci. Sports Exerc.* 27:1414-1420.
- Gonzalez-Alonso, J., C.L. Heaps, and E.F. Coyle (1992). Rehydration after exercise with common beverages and water. *Int. J. Sports Med.* 13 :399-406.
- Gutierrez, C., S. Villa, F.R. Mota, and J.J. Calva (2007). Does an L-glutamine-containing, glucose-free, oral rehydration solution reduce stool output and time to rehydrate in children with acute diarrhoea? A double-blind randomized clinical trial. *J. Health Popul. Nutr.* 25:278-284.
- Hamouti, N., V.E. Fernandez-Elias, J.F. Ortega, and R. Mora-Rodriguez (2014). Ingestion of sodium plus water improves cardiovascular function and performance during dehydrating cycling in the heat. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 24:507-518.
- James, L.J., E.J. Stevenson, P.L.S. Rumbold, and C.J. Hulston (2019). Cow's milk as a post-exercise recovery drink: implications for performance and health. *Eur. J. Sport Sci.* 19:40-48.
- Jentjens, R.L., K. Underwood, J. Achten, K. Currell, C.H. Mann, and A.E. Jeukendrup (2006). Exogenous carbohydrate oxidation rates are elevated after combined ingestion of glucose and fructose during exercise in the heat. *J. Appl. Physiol.* 100:807-816.
- Jeukendrup, A.E. (2010). Carbohydrate and exercise performance: the role of multiple transportable carbohydrates. *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care* 13:452-457.
- Jeukendrup, A.E., and L. Moseley (2010). Multiple transportable carbohydrates enhance gastric emptying and fluid delivery. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 20:112-121.
- Jeukendrup, A.E., K. Currell, J. Clarke, J. Cole, and A.K. Blannin (2009). Effect of beverage glucose and sodium content on fluid delivery. *Nutr. Metab.* 6:9.
- Kamijo, Y., S. Ikegawa, Y. Okada, S. Masuki, K. Okazaki, K. Uchida, M. Sakurai, and H. Nose (2012). Enhanced renal Na<sup>+</sup> reabsorption by carbohydrate in beverages during restitution from thermal and exercise-induced dehydration in men. *Am. J. Physiol.* 303:R824-R833.
- Lambert, C.P., and R.J. Maughan (1992). Accumulation in the blood of a deuterium tracer added to hot and cold beverages. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 2:76-78.
- Lambert, G.P., X. Shi, and R. Murray (2012). The gastrointestinal system. In: P.A. Farrell, M.J. Joyner, & V.J. Caiozzo (Eds.). *ACSM's Advanced Exercise Physiology* (2nd ed.). Lippincott Williams & Wilkins. pp. 348-362.
- Leiper, J.B. (2015). Fate of ingested fluids: factors affecting gastric emptying and intestinal absorption of beverages in humans. *Nutr. Rev.* 73(Suppl 2):57-72.
- Maughan, R.J., and J.B. Leiper (1995). Sodium intake and post-exercise rehydration in man. *Eur. J. Appl. Physiol.* 71:311-319.
- Maughan, R.J., J.H. Owen, S.M. Shirreffs, and J.B. Leiper (1994). Post-exercise rehydration in man: effects of electrolyte addition to ingested fluids. *Eur. J. Appl. Physiol.* 69:209-215.
- Maughan, R.J., P. Watson, P.A. Cordery, N.P. Walsh, S.J. Oliver, A. Dolci, N. Rodriguez-Sanchez, and S.D. Galloway (2016). A randomized trial to assess the potential of different beverages to affect hydration status: development of a beverage hydration index. *Am. J. Clin. Nutr.* 103:717-723.
- Maughan, R.J., P. Watson, P.A.A. Cordery, N.P. Walsh, S.J. Oliver, A. Dolci, N. Rodriguez-Sanchez, and S.D.R. Galloway (2019). Sucrose and sodium but not caffeine content influence the retention of beverages in humans under euhydrated conditions. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 29:51-60.
- 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.
- Minehan, M.R., M.D. Riley, and L.M. Burke (2002). Effect of flavor and awareness of kilojoule content of drinks on preference and fluid balance in team sports. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 12:81-92.
- Murray, R., and J.R. Stofan (2001). Formulating carbohydrate-electrolyte drinks for optimal efficacy. In: R.J. Maughan and R. Murray (eds.). *Sports Drinks: Basic Science and Practical Aspects.* CRC Press.
- Murray, B., and X. Shi (2006). The gastrointestinal system. In C. M. Tipton (Ed.), *ACSM's Advanced Exercise Physiology*, Lippincott Williams & Wilkins. pp. 357-369.
- Murray, R., W. Bartoli, J. Stofan, M. Horn, and D. Eddy (1999). A comparison of the gastric emptying characteristics of selected sports drinks. *Int. J. Sport Nutr.* 9:263-274.
- Neufer, P.D., A.J. Young, and M.N. Sawka (1989). Gastric emptying during exercise: effects of heat stress and hypohydration. *Eur. J. Appl. Physiol.* 58:433-439.
- Nielsen, B., G. Sjogaard, J. Ugelvig, B. Knudsen, and B. Dohmann (1986). Fluid balance in exercise dehydration and rehydration with different glucose-electrolyte drinks. *Eur. J. Appl. Physiol.* 55:318-325.
- Nose, H., G.W. Mack, X.R. Shi, and E.R. Nadel (1988). Role of osmolality and plasma volume during rehydration in humans. *J. Appl. Physiol.* 65:325-331.
- Osterberg, K.L., S.E. Pallardy, R.J. Johnson, and C.A. Horswill (2010). Carbohydrate exerts a mild influence on fluid retention following exercise-induced dehydration. *J. Appl. Physiol.* 108:245-250.
- Passe, D.H. (2001). Physiological and psychological determinants of fluid intake. In: R.J. Maughan and R. Murray (Eds.). *Sports Drinks: Basic Science and Practical Aspects.* CRC Press. pp. 45-87.
- Passe, D.H., M. Horn, and R. Murray (2000). Impact of beverage acceptability on fluid intake during exercise. *Appetite* 35:219-229.
- Passe, D.H., M. Horn, J. Stofan, and R. Murray (2004). Palatability and voluntary intake of sports beverages, diluted orange juice, and water during exercise. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 14:272-284.
- Perez-Idarraga, A., and L.F. Aragon-Vargas (2014). Postexercise rehydration: potassium-rich drinks versus water and a sports drink. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 39:1167-1174.
- Rehrer, N.J., E.J. Beckers, F. Brouns, F. ten Hoor, and W.H. Saris (1990). Effects of dehydration on gastric emptying and gastrointestinal distress while running. *Med. Sci. Sports Exerc.* 22:790-795.
- Rehrer, N.J., A.J. Wagenmakers, E.J. Beckers, D. Halliday, J.B. Leiper, F. Brouns, R.J. Maughan, K. Westerterp, and W.H. Saris (1992). Gastric emptying, absorption, and carbohydrate oxidation during prolonged exercise. *J. Appl. Physiol.* 72:468-475.
- Rivera-Brown, A.M., R. Gutierrez, J.C. Gutierrez, W.R. Frontera, and O. Bar-Or (1999). Drink composition, voluntary drinking, and fluid balance in exercising, trained, heat-acclimatized boys. *J. Appl. Physiol.* 86:78-84.
- Rivera-Brown, A.M., F.A. Ramirez-Marrero, B. Wilk, and O. Bar-Or (2008). Voluntary drinking and hydration in trained, heat-acclimatized girls exercising in a hot and humid climate. *Eur. J. Appl. Physiol.* 103:109-116.
- Rowlands, D.S., B.H. Kopetschny, and C.E. Badenhorst (2022). The hydrating effects of hypertonic, isotonic and hypotonic sports drinks and waters on central hydration during continuous exercise: A systematic meta-analysis and perspective. *Sports Med.* 52:349-375.
- Seifert, J., J. Harmon, and P. DeClercq (2006). Protein added to a sports drink improves fluid retention. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 16:420-429.
- Shi, X., and D.H. Passe (2010). Water and solute absorption from carbohydrate-electrolyte solutions in the human proximal small intestine: a review and statistical analysis. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 20:427-442.

- Shi, X., R.W. Summers, H.P. Schedl, S.W. Flanagan, R. Chang, and C.V. Gisolfi (1995). Effects of carbohydrate type and concentration and solution osmolality on water absorption. *Med. Sci. Sports Exerc.* 27:1607-1615.
- Shi, X., W. Bartoli, M. Horn, and R. Murray (2000). Gastric emptying of cold beverages in humans: effect of transportable carbohydrates. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 10:394-403.
- Shi, X., M.K. Horn, K.L. Osterberg, J.R. Stofan, J.J. Zachwieja, C.A. Horswill, D.H. Passe, and R. Murray (2004). Gastrointestinal discomfort during intermittent high-intensity exercise: effect of carbohydrate-electrolyte beverage. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 14 :673-683.
- Shirreffs, S.M. (2003). The optimal sports drink. *Sportmedizin und Sporttraumatologie*, 51:25-29.
- Shirreffs, S.M., and R.J. Maughan (1998). Volume repletion after exercise-induced volume depletion in humans: replacement of water and sodium losses. *Am. J. Physiol.* 274:F868-F875.
- 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.
- Shirreffs, S.M., L.F. Aragon-Vargas, M. Keil, T.D. Love, and S. Phillips. (2007). Rehydration after exercise in the heat: a comparison of 4 commonly used drinks. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 17:244-258.
- Taim, B.C., H.T. Suppiah, J. Wee, M. Lee, J.K.W. Lee, and M. Chia (2021). Palatable flavoured fluids without carbohydrates and electrolytes do not enhance voluntary fluid consumption in male collegiate basketball players in the heat. *Nutrients* 13:4197.
- Wapnir, R.A., M.A. Wingertzahn, and S. Teichberg (1997). L-arginine in low concentration improves rat intestinal water and sodium absorption from oral rehydration solutions. *Gut* 40:602-607.
- Wemple, R.D., T.S. Morocco, and G.W. Mack (1997). Influence of sodium replacement on fluid ingestion following exercise-induced dehydration. *Int. J. Sport Nutr.* 7:104-116.
- Wilk, B., and O. Bar-Or (1996). Effect of drink flavor and NaCl on voluntary drinking and hydration in boys exercising in the heat. *J. Appl. Physiol.* 80:1112-1117.
- Wilk, B., A.M. Rivera-Brown, and O. Bar-Or (2007). Voluntary drinking and hydration in non-acclimatized girls exercising in the heat. *Eur. J. Appl. Physiol.* 101:727-734.
- Zambraski, E.J. (2012). The renal system. In: P.A. Farrell, M.J. Joyner, & V.J. Caiozzo (Eds.), *ACSM's Advanced Exercise Physiology* (2nd ed.). Lippincott Williams & Wilkins. pp. 551-563.

## TRADUCCIÓN

Este artículo ha sido traducido y adaptado de: Baker, L.B. (2023). The fluid replacement process: Principles of beverage formulation for athletes. *Sports Science Exchange* Vol. 36, No. 244, 1-8, por Lourdes Mayol Soto, M.Sc.