

Selected Papers from Impact

Resultados de Rendimiento y Efectos Secundarios No Deseados Asociados con Bebidas Energéticas

Performance Outcomes and Unwanted Side Effects Associated with Energy Drinks

Ricardo Mora-Rodriguez y Jesús G. Pallarés

RESUMEN

Las bebidas energéticas son cada vez más populares entre los atletas y otros. La publicidad de estos productos generalmente presenta imágenes que conjugan una gran resistencia y potencia muscular; sin embargo, la bibliografía científica proporciona escasa evidencia de un papel ergogénico de las bebidas energéticas. Aunque la composición de las bebidas energéticas varía, la mayoría contiene cafeína; los carbohidratos, aminoácidos, hierbas y vitaminas son otros ingredientes típicos. Este informe analiza los efectos de los ingredientes de bebidas energéticas en el ejercicio submáximo (resistencia) prolongado, así como en la fuerza y la potencia a corto plazo (rendimiento neuromuscular). También analiza los efectos de los ingredientes de las bebidas energéticas en el déficit de electrolitos y líquido durante el ejercicio prolongado. En varios estudios, se ha encontrado que las bebidas energéticas mejoran el rendimiento de resistencia, aunque los efectos podrían ser atribuibles al contenido de carbohidratos y/o cafeína. Por el contrario, menos estudios encuentran un efecto ergogénico de las bebidas energéticas en la fuerza y potencia muscular. Los datos existentes sugieren que la dosis administrada en estudios de bebidas energéticas es insuficiente para mejorar el rendimiento neuromuscular. Finalmente, no está claro si las bebidas energéticas son el vehículo óptimo para administrar cafeína cuando se necesitan altas dosis para mejorar el rendimiento neuromuscular.

Palabras Clave: cafeína, rendimiento de resistencia, rendimiento neuromuscular, Red Bull, taurina

ABSTRACT

Energy drinks are increasingly popular among athletes and others. Advertising for these products typically features images conjuring great muscle power and endurance; however, the scientific literature provides sparse evidence for an ergogenic role of energy drinks. Although the composition of energy drinks varies, most contain caffeine; carbohydrates, amino acids, herbs, and vitamins are other typical ingredients. This report analyzes the effects of energy drink ingredients on prolonged submaximal (endurance) exercise as well as on short-term strength and power (neuromuscular performance). It also analyzes the effects of energy drink ingredients on the fluid and electrolyte deficit during prolonged exercise. In several studies, energy drinks have been found to improve endurance performance, although the effects could be attributable to the caffeine and/or carbohydrate content. In contrast, fewer studies find an ergogenic effect of energy drinks on muscle strength and power. The existing data suggest that the caffeine dose given in studies of energy drinks is insufficient to enhance neuromuscular performance. Finally, it is unclear if energy drinks are the optimal vehicle to deliver caffeine when high doses are needed to improve neuromuscular performance.

Keywords: caffeine, endurance, performance, energy drinks, neuromuscular performance, Red Bull, side effects, taurine

INTRODUCCIÓN

Las bebidas carbonatadas, las bebidas deportivas y las bebidas energéticas son diferentes categorías de bebidas que los consumidores pueden encontrar en cualquier gran o pequeña tienda. Si bien la mayoría de la gente puede distinguir entre una gaseosa y las otras dos categorías de bebidas, las bebidas deportivas y las energéticas podrían confundirse fácilmente. Las bebidas deportivas se originaron a principios de la década de 1960 con la elaboración de Gatorade del Dr. Robert Cade para ayudar al rendimiento en verano del equipo de fútbol universitario en la Universidad de Florida.¹ Varios países han regulado los ingredientes y el etiquetado de bebidas que se comercializan como bebidas deportivas. Por ejemplo, la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria² aconseja un rango estrecho de osmolalidades (200–330 mOsm·kg/H₂O) así como concentraciones de sodio (20-50 mmol/L) y carbohidratos (2-8% w/v) al definir la composición de una bebida deportiva. La mayoría de los fabricantes de bebidas deportivas formulan sus productos siguiendo el consejo de los paneles científicos de expertos en nutrición deportiva (por ejemplo, la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria y la Administración de Alimentos y Medicamentos de EEUU); por lo tanto, la composición de estas bebidas es bastante similar dado que el objetivo común es ayudar al rendimiento durante el ejercicio prolongado, especialmente en un ambiente caluroso.

Las bebidas energéticas aparecieron en el mercado Occidental 20 años después, cuando la compañía Red Bull GmbH comenzó a vender sus productos de bebidas energéticas en Austria.³ En contraste con las formulaciones relativamente similares de bebidas deportivas, la composición de las bebidas energéticas es muy variable. Sin embargo, todas las bebidas energéticas incluyen uno o varios estimulantes, siendo la cafeína la más común. La falta de uniformidad en las elaboraciones de bebidas energéticas probablemente se origina en el hecho de que estas bebidas carecen de un propósito unificado. En general, los fabricantes afirman que las bebidas energéticas beneficiarán a los consumidores al mejorar su capacidad física y su rendimiento cognitivo. Sin embargo, no está claro si el objetivo es mejorar los arranques cortos de alta intensidad de ejercicio o alimentar y estimular el cuerpo durante el ejercicio aeróbico prolongado. Parece que las bebidas energéticas se comercializan para mejorar el rendimiento en deportes extremos que requieren una potencia neuromuscular máxima y un alto grado de capacidad atlética y coordinación. Sin embargo, los anuncios de bebidas energéticas también pueden incluir deportes de larga duración como carreras de autos y carreras de bicicleta en montaña o windsurf freestyle que requieren un alto grado de resistencia muscular local y en todo el cuerpo.

Esta revisión actualiza la información científica actual sobre los efectos positivos que las bebidas energéticas pueden tener en el rendimiento del ejercicio y la equilibra con información sobre los posibles efectos secundarios negativos derivados de su consumo. Debido a la amplia variabilidad en la composición de las bebidas energéticas, esta revisión analiza los ingredientes más comunes de la bebida energética original, Red Bull, que son los siguientes: cafeína, taurina, glucuronolactona, glucosa y vitamina B. El enfoque de la revisión se limita a los beneficios alegados que las bebidas energéticas proporcionan para el rendimiento físico, ya que otras revisiones en este número de la revista y en otros lugares brindan información sobre afirmaciones relacionadas con mejoras cognitivas⁴ y pérdida de peso.⁵ Se presentan preferentemente los estudios en humanos. Solo se incluyeron los estudios de laboratorio en los que las variables estaban estrechamente controladas.

EVIDENCIA DE RESISTENCIA AL EJERCICIO PROLONGADO

Bebidas Energéticas y Contracción Muscular Prolongada

Los carbohidratos complejos y el agua son nutrientes que han demostrado repetidamente que retrasan la fatiga durante el ejercicio prolongado⁶ deshidratante⁷. Sin embargo, las bebidas energéticas no parecen estar formuladas para maximizar la incorporación de glucosa o agua a la sangre durante el ejercicio. Un litro de Red Bull (es decir, 4 latas que contienen 250 ml cada una) contiene 4 g de taurina (un aminoácido), 2,4 g de glucuronolactona, 0,32 g de cafeína, 108 g de carbohidratos y 0,14 g de vitamina B. La concentración de carbohidratos es 11% y la osmolalidad es 601 mOsm·kg/H₂O.⁸ Por el contrario, una bebida deportiva (por ejemplo, Gatorade Orange) tiene una concentración más baja de carbohidratos (6%) y osmolalidad (297 mOsm·kg/H₂O). Los carbohidratos comprenden el macronutriente principal en ambas bebidas y determinan el contenido calórico de la bebida.

Se ha informado que el contenido calórico de una bebida influye en la tasa de vaciamiento gástrico en reposo⁹ y cuando se ingiere durante el ejercicio.¹⁰ Las altas tasas de vaciamiento gástrico son importantes para garantizar la biodisponibilidad de la bebida ingerida. Por lo tanto, la ingestión de una bebida con una concentración de carbohidratos del 8% o superior podría dar como resultado una incorporación retrasada en el torrente sanguíneo y una disponibilidad reducida de los ingredientes para la musculatura contraída. Además, aumentar la osmolalidad de una solución de carbohidrato al 6% a 414 mOsm·kg/H₂O, redujo la absorción del líquido ingerido de 82% a 68% en comparación con el placebo de agua.¹¹ La combinación de alta osmolalidad y alta concentración de carbohidratos de Red Bull (601 mOsm kg/H₂O y 11%, respectivamente) probablemente reduce su absorción en comparación con una bebida deportiva comercial.

Además, las bebidas energéticas no incluyen sales en su elaboración. La sal (sodio y cloruro) se pierde en el sudor durante el ejercicio en cantidades proporcionales a la intensidad del ejercicio.¹² Por lo tanto, la sal ingerida en una bebida antes o durante el ejercicio prolongado tiene un papel importante en el mantenimiento de la estabilidad cardiovascular, el equilibrio hídrico e incluso el rendimiento del ejercicio.¹³ A su favor, las bebidas energéticas contienen cafeína, que tiene un efecto ergogénico durante el ejercicio prolongado.^{14,15} La ingestión de cafeína aumenta el rendimiento de resistencia al retrasar la fatiga del sistema nervioso central,¹⁶ y podría aumentar el rendimiento neuromuscular a través de un efecto directo sobre el músculo,¹⁷ resultando, en ambas situaciones, en un mayor gasto de energía durante el ejercicio.

Recientemente, las compañías han introducido versiones sin azúcar de bebidas energéticas. Estas bebidas tienen cero calorías y baja osmolalidad (140 mOsmol·kg/H₂O para Red Bull "Sugarfree"), lo que resuelve los problemas de absorción reducida de la versión regular que contiene azúcar. Por otro lado, la cafeína en estas bebidas conduce a un gasto de energía extra, energía que no es proporcionada por la bebida sin azúcar. Por lo tanto, la bebida sin azúcar puede dar como resultado un drenaje más rápido de los depósitos de energía endógena (glucógeno muscular, fosfocreatina y ATP) contrarrestando sus acciones ergogénicas. Por lo tanto, las bebidas energéticas que contienen estimulantes y fluidos pero no carbohidratos (por ejemplo, versiones sin azúcar) pueden mejorar el rendimiento de resistencia debido al uso más extenso de depósitos de energía endógena.

Bebidas Energéticas y Rehidratación

Durante el ejercicio prolongado en ambientes cálidos, las bebidas se consumen en un intento de mantener el equilibrio de líquidos mediante la sustitución del líquido perdido por la sudoración. El déficit hídrico (deshidratación) aumenta la tensión cardiovascular y térmica del ejercicio.¹⁸ Incluso los niveles de deshidratación inferiores al 2% (por ejemplo, pérdida de líquido de 1,4 L para un hombre de 70 kg) aumentan la temperatura central y pueden disminuir el rendimiento del ciclismo.¹⁹ Los riñones determinan el equilibrio de fluidos de un cuerpo a largo plazo. La función renal puede verse afectada por la cantidad y la composición del líquido de rehidratación utilizado durante el ejercicio prolongado. Además, los riñones ayudan a regular la presión arterial y el equilibrio ácido-base, que también son importantes para el rendimiento durante el ejercicio de resistencia.

Se estima que todo nuestro fluido extracelular pasa a través de nuestros riñones 16 veces por día. Sin embargo, la mayor parte del líquido que se filtra en el glomérulo se reabsorbe y menos del 1% termina en la vejiga (1 ml/min de la velocidad de formación de orina). El flujo sanguíneo renal, la presión y las hormonas renales (principalmente vasopresina y aldosterona) determinan las tasas de filtración del glomérulo y la reabsorción del túbulo renal, respectivamente. Cualquier componente de una bebida que induce vasoconstricción o altera las acciones de las hormonas reguladoras de fluidos para reducir la reabsorción del túbulo renal (es decir, el efecto diurético) afectará negativamente el equilibrio de líquidos y podría, por lo tanto, afectar el rendimiento de resistencia. Potencialmente, una bebida que contiene una sustancia diurética podría aumentar la pérdida de agua corporal a través de la orina, reducir el volumen de plasma y afectar negativamente la termorregulación y la función cardiovascular. Se ha demostrado que las bebidas que contienen cafeína aumentan la producción de orina cuando se ingieren antes²⁰ y después²¹ del ejercicio.

Además de ser diurética, la cafeína mejora las pérdidas de sodio en la orina (es decir, natriurético). Se ha considerado que el sodio es un elemento clave en el mantenimiento del volumen plasmático durante el ejercicio prolongado deshidratante. Esto se ha ilustrado recientemente en un estudio que compara sujetos de control con pacientes que excretan una gran cantidad de sodio (fibrosis quística) durante el ejercicio deshidratante prolongado.²² Los autores observaron mayores reducciones del volumen plasmático en los pacientes con fibrosis quística para el mismo nivel de deshidratación. Del mismo modo, la pérdida de sodio inducida por la ingestión de cafeína podría alterar el rendimiento cardiovascular durante el ejercicio. Además, un equilibrio negativo de sodio durante el ejercicio prolongado podría debilitar la fuerza isométrica de las piernas.²³ Por lo tanto, a pesar del hecho de que las bebidas energéticas están comúnmente asociadas con el ejercicio prolongado, no está claro si pueden recomendarse para rehidratarse durante la actividad física prolongada debido a su contenido de cafeína relativamente alto y la falta de sodio agregado.

EFECTO DIURÉTICO DE LOS INGREDIENTES MÁS COMUNES DE BEBIDA ENERGÉTICA

Vitamina B y Glucosa

La vitamina B es soluble en agua y, por lo tanto, se distribuye en el amplio conjunto de agua corporal. Un litro de Red Bull contiene 150 mg de vitamina B, cuyo exceso podría excretarse fácilmente con un sistema renal que funcione normalmente. Tras la ingestión, la glucosa se utiliza como sustrato energético o se almacena en el hígado y los músculos. La ingestión de 108 g de carbohidratos (4 latas de Red Bull) no debería representar un problema para los riñones. La excepción es con la población diabética para quienes esta cantidad de glucosa podría causar glucosuria (presencia de glucosa en la orina) y la consiguiente pérdida de agua excesiva en la orina con la resultante deshidratación (es decir, diuresis osmótica).

Glucuronolactona

Este metabolito natural de la glucosa se forma en el hígado. La glucuronolactona se absorbe, metaboliza y excreta rápidamente en la orina en forma de ácido glucárico, xilitol y L-xilulosa. El ácido glucurónico es un constituyente importante de los tejidos fibrosos y conectivos. En 2003, la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria expresó su preocupación por la seguridad de su inclusión en las bebidas energéticas.²⁴ Sus preocupaciones se basaban en el hallazgo de lesiones renales no especificadas (inflamación en la papila del riñón) después de 13 semanas de suplementación en ratas. Sin embargo, las ratas difieren de los humanos en la forma en que metabolizan la glucuronolactona. En un estudio de seguimiento, que incluyó una muestra más grande de los mismos animales, no se informaron efectos en los riñones, lo que llevó a los investigadores a concluir que una dosis de 1 g·día·kg/peso corporal era segura.²⁵ Se estima que la población con la mayor exposición a bebidas energéticas (es decir, percentil del 95%) podría estar ingiriendo 1,5 latas por día de un producto tipo Red Bull, que equivaldrá a 840 mg/día de glucuronolactona. Aunque esta cantidad de glucuronolactona es mucho más alta que la exposición típica en las dietas omnívoras (1-2 mg/día), todavía está muy por debajo del nivel que desencadenaría problemas de seguridad alimentaria.²⁴ Con respecto a los humanos, no se encontraron estudios que describan los efectos de la glucuronolactona en la regulación de fluidos o en el rendimiento del ejercicio.

Taurina

La taurina está presente en altas concentraciones en el músculo esquelético, el corazón y el sistema nervioso central. Se ha propuesto que la taurina participa en la osmorregulación, estabiliza el potencial de membrana en el músculo esquelético, afecta la cinética del ion calcio, tiene un efecto antioxidante y antiinflamatorio y actúa como un neurotransmisor.²⁶ Un estudio clínico incluso sugiere que el tratamiento oral con taurina mejora el rendimiento en humanos con insuficiencia cardíaca congestiva.²⁷ Sin embargo, en un estudio de individuos sanos, la suplementación crónica con taurina (5 g/día durante 7 días) no tuvo ningún efecto sobre la frecuencia cardíaca o el consumo de oxígeno durante el ejercicio submáximo prolongado.²⁸ Además, las reservas musculares de energía (por ejemplo, glucógeno, ATP, creatina, fosfocreatina) no se vieron afectadas por una semana de suplementación. La ingesta repetida de taurina durante 7 días no tuvo ningún efecto sobre las respuestas metabólicas musculares a 120 min de ejercicio a intensidad moderada.²⁸

En un estudio, la infusión de taurina en pacientes cirróticos dio como resultado diuresis transitoria y natriuresis, aparentemente a través de la inhibición del eje renina-aldosterona.²⁹ Con base en este estudio, podría suponerse que la ingestión de taurina también puede tener un efecto diurético en individuos sanos. Además, la combinación de taurina y cafeína en bebidas energéticas podría dar como resultado una suma de sus efectos diuréticos. Riesenhuber et al.³⁰ investigaron los efectos diuréticos aditivos de la cafeína y la taurina en un diseño cruzado utilizando 12 voluntarios masculinos sanos. Los participantes recibieron 750 ml de cuatro bebidas de prueba diferentes de forma ciega después de una restricción de fluidos durante toda la noche de 12 h. Una bebida era Red Bull regular que contenía cafeína y taurina y las otras bebidas carecían de cafeína, taurina o ambas, pero eran idénticas. El volumen de orina y la concentración de sodio en la orina se midieron 6 h después de la ingestión de la bebida. El tratamiento con cafeína elevó la producción de orina y la concentración de sodio en la orina, mientras que la taurina no aumentó el efecto de la cafeína en la producción de orina. Por el contrario, la taurina tiende a reducir la diuresis y la natriuresis. Por lo tanto, la información disponible actualmente no respalda un papel diurético de la taurina a la dosis que normalmente se encuentra en las bebidas energéticas.

Cafeína

La cafeína es la droga más consumida en el mundo. Esta trimetilxantina antagoniza los receptores de adenosina e inhibe las acciones de la fosfodiesterasa. De todas las metilxantinas, se ha descubierto que la cafeína aumenta la producción de

orina con una potencia diurética que solo se excede con la de la teofilina.³¹ La administración de 400 mg de cafeína a humanos sanos reduce la reabsorción renal de sodio y aumenta la excreción fraccionada de agua.³² Estos efectos no parecen estar mediados ni por la reducción en el flujo sanguíneo plasmático renal³³ ni por los aumentos en la renina plasmática y la vasopresina,³⁴ los cuales no se alteran con la ingestión de cafeína. Los estudios en ratones muestran que el antagonismo de los receptores de adenosina A1 es responsable de las acciones diuréticas y natriuréticas de la cafeína.³⁵

Dado este efecto diurético de la cafeína, algunos estudios de equilibrio hídrico han propuesto la ingesta de 1,2 ml de líquido por mg de cafeína para compensar sus acciones diuréticas.³⁶ En el caso de Red Bull, una lata de 250 ml tiene 80 mg de cafeína y por lo tanto supera esa relación por 2,5 veces. Además, los efectos de la cafeína en el aumento de la excreción de agua son dependientes de la dosis y embotados cuando se estudian sujetos que tienen un balance hídrico negativo (por ejemplo, después de un ayuno nocturno). Una revisión de los efectos diuréticos de la cafeína en humanos en reposo propone que existe un umbral de alrededor de 250-300 mg de cafeína, por debajo del cual la ingestión de cafeína no tiene un efecto diurético notable. Este umbral podría ser incluso superior a 250 mg en usuarios habituales de cafeína.³⁷

Ragsdale et al.³⁸ encontraron que la ingestión de 250 ml de Red Bull (es decir, 1 lata) no tuvo un efecto diurético mensurable en comparación con el mismo volumen de una solución de placebo con glucosa. Sin embargo, los sujetos fueron expuestos a solo 80 mg de cafeína y comenzaron la prueba ligeramente deshidratados (densidad urinaria específica $\geq 1,020$). La ingestión de grandes cantidades de bebidas energéticas (es decir, 4 latas de Red Bull) o de bebidas energéticas con mayores concentraciones de cafeína (por ejemplo, Monster Energy Drink y Rockstar 2x Energy Drink) podría tener un efecto diurético y producir un déficit de líquidos. Los bajos niveles de déficit de líquidos en reposo rara vez son problemáticos, pero durante el ejercicio prolongado, la deshidratación a un nivel del 1,5% aumenta la temperatura central y la frecuencia cardíaca, y aumenta el índice de esfuerzo percibido.¹⁸ Por lo tanto, un estudio posterior de los efectos diuréticos de la cafeína durante el ejercicio es de interés.

EFFECTOS DE LA INGESTIÓN DE CAFEÍNA DURANTE EL EJERCICIO EN AMBIENTES CALUROSOS

Durante el ejercicio, el flujo sanguíneo se redistribuye a los músculos, y el sistema nervioso simpático reduce el flujo de sangre a los riñones a 1% del gasto cardíaco (~250 ml/min). El grado de reducción del flujo sanguíneo renal depende de la intensidad y la duración del ejercicio. De hecho, existe una relación inversa entre el flujo renal y la frecuencia cardíaca, con reducciones progresivas en el flujo renal a medida que aumenta la frecuencia cardíaca.³⁹ El flujo sanguíneo renal es paralelo a la tasa de filtración glomerular, lo que explica la reducción de la formación de orina durante el ejercicio.

Aunque el ejercicio reduce la formación de orina, si la ingestión de líquidos durante el ejercicio prolongado con calor es suficiente para prevenir la deshidratación, el flujo de orina durante el ejercicio podría alcanzar los mismos niveles que en reposo.⁴⁰ Algunos investigadores se preguntaron si la inclusión de cafeína en una bebida de rehidratación podría afectar negativamente el equilibrio hídrico y, por lo tanto, la termorregulación durante el ejercicio. Durante el ejercicio prolongado en un entorno caluroso controlado (es decir, 33 °C), se invitó a ciclistas masculinos a reemplazar las pérdidas de líquidos (3,6 L) consumiendo una de las siguientes bebidas: 1) agua, 2) agua + cafeína, 3) bebida deportiva, 4) o bebidas deportivas + cafeína (Figura 1).⁴⁰ Los ensayos se compararon con ningún reemplazo de líquidos (NF) con o sin pastillas de cafeína. Cuando no se previno la deshidratación (ensayos NF), la producción de orina fue muy baja y la adición de cafeína no tuvo efecto diurético. Cuando los sujetos bebieron la bebida deportiva, la producción de orina aumentó, pero la cafeína añadida a la bebida deportiva tampoco tuvo efecto diurético. Es posible que la sal incluida en la bebida deportiva contrarrestara los efectos diuréticos de la cafeína. Sin embargo, cuando se agregó cafeína al agua, la producción de orina aumentó en un 37% (Figura 1).⁴⁰

Este aumento en las pérdidas de líquidos a través de la orina no afectó el equilibrio de líquidos en todo el cuerpo, ya que la micción representó un pequeño porcentaje de pérdida total de líquidos (principalmente sudor). Sin embargo, la cafeína tiende a aumentar la temperatura central cuando se combina con la bebida deportiva. Este estudio no es el único que muestra que la cafeína tiene un efecto termogénico leve durante⁴¹ e incluso antes del ejercicio.⁴² Finalmente, se midió la composición del sudor y se observó una mayor excreción de sodio en el sudor cuando se combinaron los ensayos con el consumo de cafeína.⁴⁰ Esto sugiere que la cafeína puede alterar el equilibrio de fluidos y minerales durante el ejercicio prolongado en el calor.

Se desconoce si estos efectos adversos de las bebidas que contienen cafeína en la producción de orina, la termorregulación y el equilibrio mineral podrían replicarse cuando se usen bebidas energéticas como fuente de cafeína. La cantidad de cafeína ingerida en este estudio (6 mg/kg de peso corporal) fue equivalente a beber 5-6 latas regulares de Red Bull

(1,25-1,5 litros); sin embargo, si esa cantidad de cafeína se repitiera utilizando la bebida energética, solo el 50% de las pérdidas de sudor se habrían reemplazado sin proporcionar sal. Ese nivel de rehidratación (50%) es insuficiente durante el ejercicio en un ambiente caluroso y da como resultado elevaciones de la temperatura central y tensión cardiovascular¹⁸ que pueden limitar el rendimiento de resistencia. Por el contrario, la sustitución completa de las pérdidas de líquido (2,5 litros) con una bebida energética (es decir, Red Bull) habría dado lugar a una dosis de cafeína de 11 mg/kg de peso corporal. Esa dosis de cafeína es el triple de la cantidad que se ha demostrado que es ergogénica para el rendimiento de resistencia (es decir, 3-4 mg/kg).¹⁴ Por lo tanto, la ingestión de bebidas energéticas a altos volúmenes con el objetivo de la rehidratación durante el ejercicio prolongado en el calor podría potencialmente resultar en todos los efectos adversos reportados para la ingestión de cafeína.

EFFECTOS DE LAS BEBIDAS ENERGÉTICAS DURANTE EL EJERCICIO PROLONGADO EN UN AMBIENTE NEUTRO

Varios estudios informaron los efectos del consumo de bebidas energéticas antes del ejercicio de resistencia en un entorno neutro (18-22°C, ~64-72°F) en el que el déficit de líquidos no es una preocupación para el rendimiento (Tabla 1). El informe más antiguo para apoyar un papel de las bebidas energéticas en la mejora del rendimiento de resistencia es el de Geiß et al.⁴³ En ese estudio, 10 hombres jóvenes entrenados en resistencia anduvieron en bicicleta durante 60 minutos al 70% del VO₂máx, después de lo cual aumentaron la carga de trabajo 50 watts cada 3 minutos hasta el agotamiento. Usando un método doble ciego y tres ensayos, se consumieron 500 ml de tres bebidas diferentes durante 30 minutos en el recorrido submáximo de 60 minutos. Una de las bebidas era Red Bull regular (~2 mg/kg de cafeína y ~26 mg/kg de taurina), otra contenía solo el contenido de carbohidratos de Red Bull, y una tercera bebida contenía el contenido de carbohidratos y cafeína de Red Bull (~2 mg/kg de cafeína) solamente (sin taurina ni glucuronolactona). El tiempo de resistencia se incrementó al ingerir Red Bull regular, por encima de la bebida con carbohidratos y por encima de la bebida con carbohidratos y cafeína. Dado que la bebida que contiene el contenido de cafeína y carbohidratos de Red Bull resultó en el rendimiento más pobre, los autores sugieren que el efecto ergogénico de Red Bull puede deberse a la taurina (Tabla 1).

La taurina se deriva de la palabra latina *taurus*, que significa toro, porque se aisló por primera vez en el ácido biliar de los toros.⁴⁸ La asociación entre la fuerza del toro y un posible efecto ergogénico de la taurina no está respaldada por los datos. Galloway et al.²⁸ no pudieron encontrar ninguna diferencia cardiovascular o metabólica relacionada con el ejercicio durante 2 h, después de una semana de suplementación con taurina en comparación con la ingestión de placebo. Además, en un estudio reciente, Pettitt et al.⁴⁹ demostraron que la taurina y la vitamina B en los niveles presentes en una lata de Red Bull no afectan el metabolismo aeróbico durante dos sesiones de ejercicio intenso. En contraste con la opinión de Geiß et al.⁴³ que respalda un papel ergogénico de la taurina, un meta-análisis reciente de la bibliografía sugiere que la ingesta de cafeína a la dosis administrada en este estudio (2 mg/kg de CAFF) aumenta el rendimiento de resistencia.⁵⁰ Por lo tanto, no está claro cuál de los componentes de la bebida energética podría estar detrás de la mejora en el rendimiento observada en el estudio de Geiß et al.⁴³, aunque la cafeína parece un candidato probable. De hecho, es intrigante que el ensayo que investigó el efecto de la cafeína y la glucosa haya demostrado los peores resultados de rendimiento de los tres ensayos.

Los efectos de rendimiento relacionados con la ingestión de 500 ml de Red Bull (es decir, 2 latas) también han sido explorados por Ivy et al.⁴⁴ En su estudio, ciclistas bien entrenados simulaban una prueba contrarreloj de ciclismo para completar una carga equivalente a un recorrido durante 60 minutos al 70% de la potencia aeróbica máxima de cada participante. En este estudio, la bebida placebo contenía solo agua con color artificial y edulcorante. El rendimiento mejoró en la prueba contrarreloj de Red Bull en 3 minutos (~5%) en la mayoría (83%) de los participantes. El contenido de carbohidratos o de cafeína en Red Bull podría haber sido responsable del mejor rendimiento. Los sujetos ingirieron 2,3 mg de cafeína por kilogramo de peso, y dosis similares se consideraron ergogénicas cuando se ingirieron sin los otros ingredientes energéticos.¹⁵ La ingestión de una bebida energética 40 minutos antes del ejercicio elevó la glucosa en sangre, la insulina y el lactato sanguíneo, redujo los ácidos grasos libres plasmáticos y mantuvo tasas más altas de oxidación de carbohidratos en las últimas etapas del ejercicio.⁴⁴ Todas estas respuestas son compatibles con un mayor suministro de glucosa a los músculos que trabajan, lo que puede permitir mayores tasas de producción de ATP. Por lo tanto, también es posible que la ingestión de los 54 g de carbohidratos contenidos en las 2 latas de Red Bull haya tenido algún papel en el rendimiento mejorado de la resistencia. Cabe destacar que, en el estudio de Ivy et al.⁴⁴, la tasa de esfuerzo percibido tendió a ser menor en el ensayo de bebida energética y los niveles de b-endorfina tendieron a ser más altos que en el ensayo de control.

No solo el ciclismo, sino también el tiempo de carrera hasta el agotamiento al 70% del VO₂máx también mejora después de

la ingestión de una bebida energética que contiene altos niveles de cafeína (2 g de cafeína, taurina y glucuronolactona) en comparación con un placebo sin cafeína.⁴⁶ En contraste, cuando la intensidad de la carrera es mayor (es decir, 80% del VO₂máx) y el tiempo de carrera hasta el agotamiento es, por lo tanto, reducido, (12-17 min), la ingestión de bebidas energéticas sin azúcar que entregan una baja (1,2 mg/kg) o una moderada dosis de cafeína (2 mg/kg) no tiene efecto sobre el rendimiento.⁴⁷

En resumen, la bibliografía disponible sobre los efectos de las bebidas energéticas en resistencia apoya un efecto ergogénico cuando el rendimiento es prolongado (~60 min) y la ingestión de la bebida energética proporciona al menos 2 mg/kg de peso corporal de cafeína. Debido a la falta de un control adecuado de cafeína con placebo, no hay información sobre si se pueden encontrar efectos comparables cuando se consumen cantidades similares de líquido solo con cafeína y carbohidratos. Los datos de Kovacs et al.¹⁵ sugieren que este puede ser el caso; sin embargo, cuando la intensidad del ejercicio aumenta y la duración del ejercicio cae por debajo de los 20 min, el consumo de bebidas energéticas para proporcionar hasta 2 mg/kg de cafeína no parece producir un efecto ergogénico.

EFFECTOS DE LA INGESTA DE BEBIDA ENERGÉTICA EN EL RENDIMIENTO DEL EJERCICIO DE ALTA INTENSIDAD A CORTO PLAZO

En comparación con la bibliografía sobre el rendimiento de la resistencia, se dispone de un número relativamente mayor de estudios sobre los efectos de las bebidas energéticas durante los ejercicios de alta intensidad. Dentro de esta categoría se encuentran las siguientes diferentes duraciones de rendimiento: 1) ensayos que duran más de 1 minuto hasta el punto de fallo muscular⁵¹⁻⁵⁶; 2) esfuerzos que duran menos de 1 minuto, como la prueba de Wingate y los sprints de 20 metros^{52,53,57-60}; y 3) contracciones isométricas, isocinéticas o isoinerciales máximas únicas⁵⁶ que duran solo unos pocos segundos.

Toda la bibliografía es muy reciente, pero Forbes et al.⁵², en 2007, parece ser el primer grupo de investigación que ha examinado los efectos ergogénicos de una bebida energética comercializada sobre el rendimiento neuromuscular. Encontraron que una ración de 500 ml de Red Bull (2,0 mg/kg de cafeína) aumentó significativamente el número total de repeticiones de press de banca (PB) en 3 series al 70% de una repetición máxima (RM) en 15 adultos jóvenes (donde 1RM es la cantidad máxima de peso levantada al completar un rango completo de movimiento). En este estudio, durante el ensayo de Red Bull, los participantes lograron 34 repeticiones frente a 32 repeticiones cuando recibieron el placebo (5,9% y 0,24 de tamaño del efecto). Sin embargo, no se informaron diferencias para la potencia pico o potencia media durante tres pruebas consecutivas de Wingate en bicicleta de 30 segundos espaciadas por 2 minutos de recuperación.

En dos estudios similares,^{51,57} una bebida energética disponible comercialmente (marca no registrada; 2,1 mg/kg de cafeína) se proporcionó a sujetos recreativamente activos y resultó en un aumento significativo en el volumen total del levantamiento de press de pierna (12,3% y 0,24 de tamaño del efecto). Sin embargo, no tuvo efecto en el levantamiento de peso en el press de banca⁵¹ o en la prueba de Wingate de 2 x 20 segundos.⁵⁷ Duncan et al.⁵⁵, utilizando una bebida energética sin azúcar auto-preparada y no comercial (5 mg/kg de cafeína diluida en 250 ml de agua endulzada artificialmente sin azúcar), encontraron un aumento significativo en las repeticiones de press de banca hasta el fallo al 60% de 1RM en 13 atletas entrenados moderadamente. Al igual que Duncan et al.⁵⁵, Woolf et al.⁵³ formularon su propia bebida energética no comercial sin azúcar (5 mg/kg de cafeína y 0,125 g/kg de carbohidratos) para determinar su efecto en una sola carrera, en la capacidad de sprint repetidos y en tests locales de resistencia muscular. No encontraron efectos ergogénicos en las carreras de 40 yardas y 20 yardas, o en las repeticiones de press de banca al fallo con una carga fija (84 o 102 kg) en 17 jugadores de fútbol universitario.

Gwacham y Wagner⁵⁹ no encontraron efectos ergogénicos de una botella de AdvoCare Spark de 120 ml (1,2 mg/kg de cafeína) en la Prueba de Sprint Anaeróbico basada en carrera (6 x 35 metros) en una muestra de jugadores de fútbol americano universitario. Del mismo modo, Astorino et al.⁶⁰ no encontraron ningún efecto ergogénico de una lata de Red Bull (1,3 mg/kg de cafeína) en el rendimiento del sprint repetido (*t* test - 3 x 8 sprints) en jugadoras de fútbol femenino. Hoffman et al.⁵⁸ también informaron que 120 ml de Redline Extreme (2,0 mg/kg de cafeína) ingeridos 10 minutos antes del ejercicio no tuvieron efecto sobre la potencia anaeróbica medida mediante 3 repeticiones del test de Wingate de 20 segundos separadas por un descanso de 10 minutos en 12 atletas hombres entrenados en fuerza. En el único estudio que ha abordado los efectos aislados de la cafeína y la taurina en el rendimiento neuromuscular, Eckerson et al.⁵⁶ encontraron que ni 500 ml de Red Bull sin azúcar (2,0 mg/kg de cafeína + 24 mg/kg de taurina), ni 500 ml de Red Bull sin azúcar y sin taurina (2,0 mg/kg de cafeína) tuvieron un efecto ergogénico comparado con un placebo libre de cafeína sin azúcar cuando se evaluó la fuerza de 1RM o repeticiones al fallo al 70% de 1RM para el ejercicio de press de banca.

A pesar del hecho de que todos estos estudios se han llevado a cabo con diseños adecuados, doble ciegos, aleatorizados y cruzados en sujetos bien entrenados, solo 5 de los 11 estudios evaluados revelaron mejoras energéticas significativas mediadas por la bebida en el rendimiento neuromuscular. Cabe destacar que la mejora en el rendimiento siempre estuvo en el número de repeticiones al fallo muscular⁵¹⁻⁵⁵ (tamaño del efecto de 5,1-15,5% y 0,24-0,69; Tabla 2). Además, 2 de los 5 estudios que encontraron efectos ergogénicos significativos de las bebidas energéticas en la resistencia muscular local usaron una bebida energética especialmente diseñada y especialmente preparada con 5 mg/kg de cafeína. Dado que se ha sugerido que la cafeína es el único ingrediente ergogénico de las bebidas energéticas,⁴ esta falta de efectos positivos sobre el rendimiento neuromuscular podría estar relacionada con la baja dosis de cafeína administrada en los 8 estudios que utilizan bebidas energéticas comerciales (rango 1,2-2,1 mg/kg).

Los hallazgos recientes indican que la dosis mínima de cafeína necesaria para mejorar significativamente la fuerza muscular y la producción de potencia en atletas altamente entrenados depende de la resistencia que la musculatura debe superar (% 1RM). Una dosis de 3 mg/kg fue suficiente para mejorar las acciones musculares de alta velocidad contra cargas bajas (es decir, 25-50% 1RM), mientras que una dosis más alta de cafeína (9 mg/kg) fue necesaria contra altas cargas (90% 1RM) (Figura 2).⁶² Las acciones musculares involucradas en los protocolos de prueba de los estudios antes mencionados que utilizaron bebidas energéticas como una ayuda ergogénica requirieron un porcentaje diferente de la fuerza máxima de los atletas. Por ejemplo, los primeros recorridos del pedal en una prueba de Wingate o los primeros pasos de una prueba de carrera de 20 metros requieren 90-100% de 1RM. Sin embargo, a medida que avanza el evento y el cuerpo acelera, la frecuencia de reclutamiento muscular (cadencia) aumenta enormemente mientras que el porcentaje de la fuerza máxima requerida se reduce drásticamente (20-30% 1RM).⁶³ La ausencia de efectos ergogénicos sobre el rendimiento neuromuscular cuando se prueban las acciones individuales cerca de 1RM pueden explicarse por la dosis insuficiente de cafeína (rango, 1,0-2,0 mg/kg) que normalmente contiene una lata de una bebida energética comercial (Tabla 2).

Estos hallazgos son consistentes con estudios previos en los que las dosis de cafeína superiores a 5 mg/kg tendían a producir efectos ergogénicos sobre el rendimiento neuromuscular,^{64,65} mientras que las dosis inferiores a 3 mg/kg generalmente no promovían mejoras significativas.^{64,66} Desde un punto de vista práctico, los datos sugieren que si un atleta desea mejorar el rendimiento físico a corto plazo y de alta intensidad a través de bebidas energéticas, la cantidad mínima consumida debe ser equivalente a 3-4 latas de Red Bull por cada 60 kg de peso corporal, o 4-5 latas para un sujeto que pesa aproximadamente 80 kg (~5 mg/kg de cafeína). Sin embargo, al ingerir esa cantidad de Red Bull (5 latas) para lograr una dosis ergogénica de cafeína para el rendimiento neuromuscular, los sujetos también ingieren 135 g de carbohidratos, 5 g de taurina, 3 g de glucuronolactona y 0,175 g de vitamina B. La interacción de estos componentes a estas altas concentraciones aún se desconoce. Además, las bebidas energéticas no están elaboradas para acelerar la absorción de fluidos, y las diferentes tasas de incorporación de diferentes componentes en la sangre podrían provocar efectos secundarios no deseados. Por lo tanto, cuando se necesitan altas dosis de cafeína, las bebidas energéticas pueden no ser la opción óptima.

FACTORES DE CONFUSIÓN EN LOS EFECTOS DE RENDIMIENTO DE LAS BEBIDAS ENERGÉTICAS

Además del volumen de bebidas energéticas y, por lo tanto, de la ingestión de cafeína, otras variables de confusión pueden estar detrás de la ausencia de efectos significativos sobre el rendimiento neuromuscular y de resistencia entre los estudios que siguen protocolos similares y volúmenes similares de consumo de bebidas energéticas. Entre estas variables de confusión, se destacan las siguientes: 1) el tiempo de la ingesta de bebida energética en relación con el tiempo de la prueba, 2) el papel de la habituación a la cafeína y 3) el efecto del ritmo circadiano y la hora del día sobre el potencial ergogénico de bebidas energéticas.

Los estudios que evalúan el efecto ergogénico de las bebidas energéticas reportan diferentes tiempos transcurridos entre la ingesta de bebidas y el comienzo de los protocolos de prueba. Por ejemplo, 10-20 min,⁵⁸ 30-40 min,^{44,49,51,57} y 50-60 min.^{45,47,52,53,61} En la mayoría de las personas, la concentración plasmática de cafeína llega al máximo 30-60 minutos después de la ingestión,^{67,68} con una vida media de eliminación que oscila entre 2,5 y 10 horas.⁶⁹ Sin embargo, la constante de velocidad de absorción de la cafeína está influenciada por las propiedades fisicoquímicas de la formulación de la dosis, incluido el pH, el volumen y la composición.⁷⁰ Por ejemplo, la absorción de cafeína es más rápida desde la goma de mascar que desde la cápsula,⁷¹ y desde una cápsula que desde el café.⁷² Por lo tanto, no está claro qué tiempo debe transcurrir entre la ingesta de bebidas energéticas y las pruebas de rendimiento para optimizar los resultados.

Como no se ha informado consistentemente ningún otro ingrediente de las bebidas energéticas que sea ergogénico,⁴

parece razonable estandarizar el tiempo entre la ingestión de bebida energética y el comienzo de los protocolos de prueba o eventos deportivos a 60 minutos para permitir que la cafeína alcance la concentración plasmática máxima. Además, aunque la vida media de la cafeína normalmente supera las 2,5 horas, el posible efecto ergogénico de la cafeína en los esfuerzos atléticos que exceden de 1 hora está siendo cuestionado.⁷³ Sin embargo, la cafeína parece mantener sus propiedades ergogénicas cuando la ingestión se repite durante ejercicios de resistencia exhaustivos a largo plazo.⁷⁴ Además, la dosis de cafeína necesaria para un efecto ergogénico puede diferir si la ingestión tiene lugar una vez que el ejercicio ha comenzado.⁶⁷ Los efectos de estas diferentes combinaciones de tiempo y dosis deben estudiarse mejor si queremos alcanzar una mejor comprensión de los efectos ergogénicos de las bebidas energéticas.

Hasta la fecha, hay muy poca información disponible sobre la posible relación entre la habituación a la cafeína y la magnitud de la mejora de rendimiento de resistencia o de rendimiento neuromuscular tras la ingestión de bebidas energéticas. Aunque Gwacham y Wagner⁵⁹ no detectaron efectos ergogénicos significativos de las bebidas energéticas (~1,2 mg/kg de cafeína) en el rendimiento de sprint repetido, encontraron un efecto de interacción significativo entre la habituación a la cafeína y el tratamiento de bebidas (bebida energética versus placebo), sugiriendo que los atletas no habituados a la cafeína tenían más probabilidades de mejorar el rendimiento al consumir bebidas energéticas que aquellos que consumían cafeína regularmente. En modelos animales, el consumo crónico de cafeína resultó en un aumento en la afinidad de los receptores de adenosina dentro del sistema nervioso central y, por lo tanto, un aumento en la cantidad de cafeína necesaria para tener la misma actividad antagonista en los receptores.^{75,76} En humanos, Van Soeren y Graham⁷⁷ midieron el tiempo hasta el agotamiento después de que los sujetos se abstuvieron de ingerir cafeína durante 0, 2 y 4 días. Aunque no fue significativa, hubo una tendencia hacia una mejoría después de 2 y 4 días de abstinencia. Bell y McLellan,⁷⁸ utilizando un protocolo similar de tiempo hasta el agotamiento, mostraron que las mejoras en el rendimiento fueron mayores para los que no habían tomado cafeína (<50 mg/día) en comparación con los consumidores de cafeína habituales (≥300 mg/día).

Por el contrario, tanto Wiles et al⁷⁹ como Tarnopolsky y Cupido⁸⁰ no encontraron ninguna relación entre la habituación a la cafeína y el tiempo de carrera de 1.500 metros y el desarrollo de la fuerza muscular, respectivamente. Todos estos datos sugieren que la habituación a la cafeína y su relación con los efectos de las bebidas energéticas necesitan más estudios. Mientras tanto, para evitar los posibles efectos contaminantes de esta variable, se recomienda que los investigadores utilicen participantes que informen un consumo similar de cafeína. Además, según lo sugerido por Ganio et al.,⁷⁶ los atletas deben abstenerse de ingerir cafeína durante no menos de 7 días antes de los ensayos experimentales o eventos de competencia. Además, se recomienda encarecidamente que cada manuscrito informe la media, la desviación estándar y el intervalo de confianza para la ingesta regular de cafeína de los atletas.

La mayoría de los estudios que evaluaron el potencial de las bebidas energéticas para mejorar el rendimiento de la resistencia o el rendimiento físico a corto plazo y de alta intensidad se realizaron por las mañanas^{44,53-55,61} y una minoría por las tardes,⁴⁵ mientras que el resto no detalla la hora del día de la prueba.^{47,45,51,52,56-59} Hasta la fecha, ningún estudio ha abordado las posibles implicaciones del ritmo circadiano para el potencial ergogénico de las bebidas energéticas. Recientemente se descubrió que el efecto ergogénico de una dosis de cafeína de 6 mg/kg sobre el rendimiento neuromuscular en la mañana (8:00 a.m.) (5,4-9,4%; tamaño del efecto de 0,75-1,15; $P < 0,05$) se perdió completamente por la tarde (18:00 p.m.) con la misma dosis de cafeína administrada.⁸¹ Los mecanismos detrás de este efecto relacionado con el momento del día de la cafeína sobre el rendimiento muscular no están claros. Una explicación plausible es que la activación neuronal está casi completa en la tarde, y la cafeína puede tener un espacio mínimo para mejorar a esa hora. Estos datos sugieren que la hora del día en que se ingiere una bebida energética o cafeína es una variable de confusión que debe tenerse en cuenta al estudiar los efectos ergogénicos de estas bebidas.

EFFECTOS SECUNDARIOS DE LAS BEBIDAS ENERGÉTICAS

Aunque diversos estudios^{82,83} y varios informes de instituciones internacionales^{24,84} han descrito los posibles efectos negativos que el consumo habitual de bebidas energéticas puede tener en la salud, hasta la fecha hay poca información sobre los efectos secundarios que la ingestión aguda de bebidas energéticas puede tener sobre el rendimiento físico y la fatiga percibida de los atletas. Por ejemplo, al analizar el rendimiento de resistencia, varios estudios han informado efectos positivos sobre el índice de esfuerzo percibido (IEP) después de la ingestión de una o dos latas de bebidas energéticas comerciales (2,0-3,0 mg/kg de cafeína),^{44,55} mientras otros no encontraron ningún efecto en este resultado.^{45,47,49} Por lo tanto, una reducción en la percepción de fatiga física no es un efecto consistente de la ingesta de bebida energética cuando se realiza ejercicio de resistencia.

Usando cuestionarios para evaluar los efectos secundarios de las bebidas energéticas, Hoffman et al.⁵⁸ encontraron que 120 ml de la bebida energética comercializada Redline Xtreme (~2,0 mg/kg de cafeína) mejoraron significativamente los

sentimientos subjetivos de energía y concentración de los participantes, mientras que no se detectaron diferencias por los sentimientos de fatiga y estado de alerta. Estos datos son consistentes con los hallazgos de Walsh et al.⁴⁶ que encontraron que los sujetos recreativamente activos que consumen una bebida energética comercial (dosis de cafeína no informadas) sintieron mayor concentración y energía, así como menos fatiga (en comparación con un tratamiento con placebo) antes y durante una prueba de tiempo hasta el agotamiento. Estos efectos positivos desaparecieron inmediatamente después del ejercicio. De manera similar, los puntajes del estado de ánimo para el vigor fueron significativamente mayores y los puntajes de fatiga significativamente menores 60 min después de la ingesta de una bebida energética no comercial, autoelaborada y sin azúcar (5 mg/kg de cafeína) en comparación con una bebida placebo.⁵⁴

Astorino et al.⁶⁰ encontraron que solo 2 de 15 participantes femeninas sentían efectos secundarios adversos (es decir, dolor de estómago y sensación de temblor leve) después de la ingestión de una lata de Red Bull (~ 1,3 mg/kg de cafeína). En un estudio descriptivo transversal, Desbrow y Leveritt⁸⁵ encontraron que una dosis promedio de cafeína de $3,8 \pm 3$ mg/kg producía síntomas adversos muy pequeños e infrecuentes durante los eventos de triatlón de Ironman. En un estudio reciente, la dosis de cafeína se elevó sistemáticamente (0-3-6 y 9 mg/kg) mientras se monitoreaban los efectos positivos y adversos de la cafeína en los participantes a través de un cuestionario validado. Aunque los sentimientos positivos como el aumento del vigor/actividad y la percepción de la mejora del rendimiento ya estaban claramente presentes con las dosis de 3 y 6 mg/kg, la presencia de efectos secundarios negativos (es decir, problemas gastrointestinales, dolores de cabeza e insomnio) aumentó notablemente con la dosis de 9 mg/kg de cafeína (Figura 3).⁶² Además, cuando se ingiere una dosis moderada de cafeína (6 mg/kg) por la noche (18:00 p.m.), los efectos secundarios negativos que sienten los participantes aumentan drásticamente en comparación con la misma dosis de cafeína ingerida por la mañana.⁸¹ En resumen, en eventos deportivos que duran más de medio día, los efectos secundarios negativos generados por la ingestión de una cantidad suficiente de bebida energética para proporcionar dosis de cafeína superiores a 6 mg/kg en las mañanas, y 3 mg/kg por las tardes, podrían contrarrestar los efectos ergogénicos de la cafeína y dar como resultado un rendimiento físico reducido.

CONCLUSIÓN

Las bebidas energéticas son difíciles de evaluar desde la perspectiva nutricional y ergogénica debido a la variedad de ingredientes que contienen (por ejemplo, agua, azúcares, cafeína, otros estimulantes, aminoácidos, hierbas y vitaminas), lo que se complica aún más con la introducción de versiones libres de calorías y versiones concentradas (shot) en el mercado. Si bien las últimas versiones están formuladas para la entrega rápida de su principal estimulante (típicamente cafeína), las versiones regulares entregan otros nutrientes que no han demostrado ser ergogénicos (por ejemplo, taurina, glucuronolactona, vitaminas). Debido a su alta concentración de carbohidratos y la falta de sales, las bebidas energéticas no son una buena opción de bebidas cuando el ejercicio prolongado en un ambiente cálido es probable que requiera rehidratación. El rendimiento a corto plazo y de alta intensidad podría mejorarse con las bebidas energéticas, pero lograr esta mejora requiere la ingestión de grandes volúmenes para suministrar suficiente cafeína. La ingestión de altas dosis de cafeína, aunque es ergogénica, podría tener efectos secundarios negativos que podrían contrarrestar el efecto ergogénico de la cafeína.

AGRADECIMIENTOS

Fondos. Los autores no recibieron fondos externos relevantes para esta revisión.

Declaración de interés. Los autores no tienen intereses relevantes para declarar.

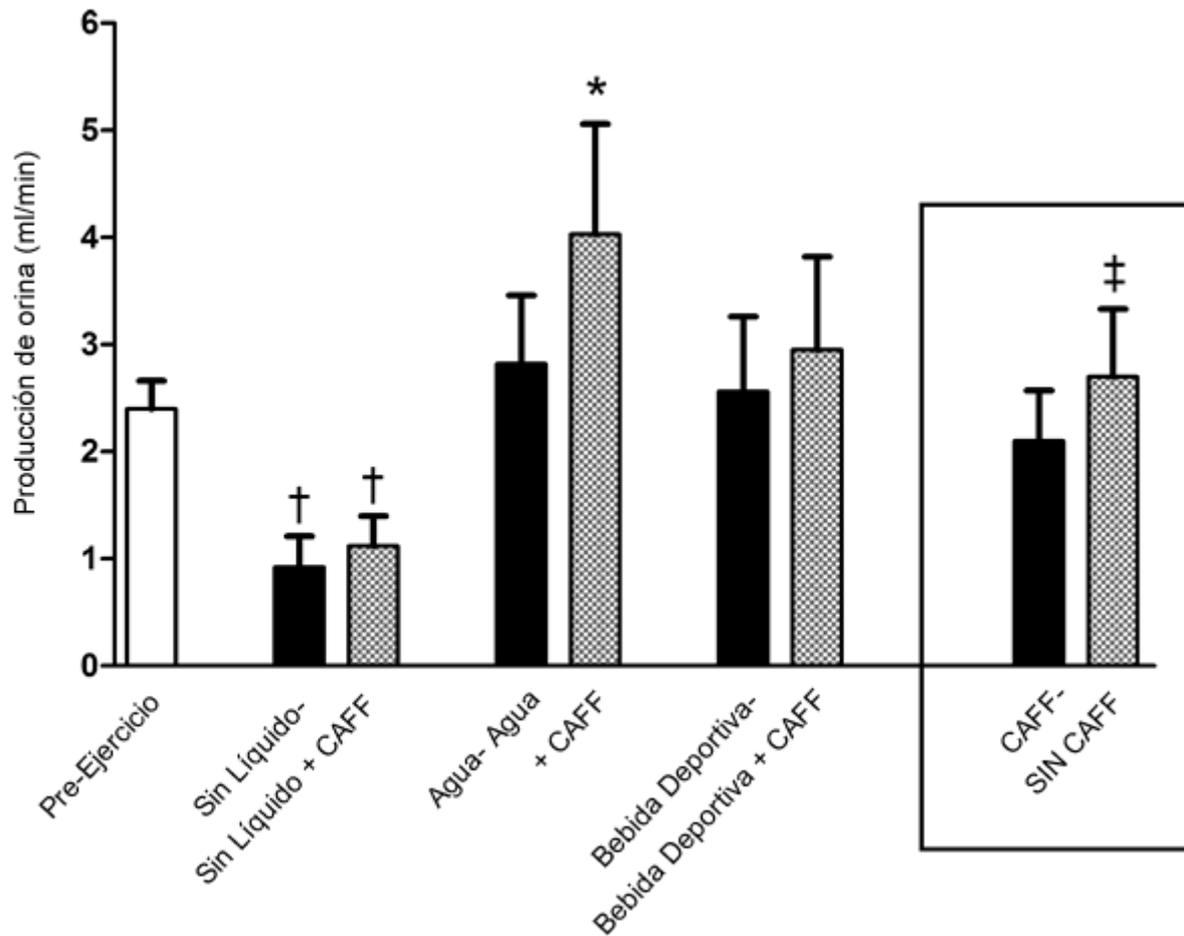


Figura 1. Flujo de orina (UF) antes y durante 120 min de ejercicio en el calor al 63% de VO₂máx; sin rehidratación (NF), rehidratando el 97% de las pérdidas de sudor con agua (WAT), con una solución de carbohidrato-electrolito (CES) o combinando estos tratamientos con la ingestión de café (CAFF + NF, CAFF + WAT y CAFF + CES). Datos para siete sujetos se presentan como media ± SEM. *Diferente del ensayo NF ($P \leq 0,05$). †Diferente del pre-ejercicio ($P \leq 0,05$). Las inserciones correctas muestran los principales efectos de la ingestión de café. ‡Diferente de los ensayos sin cafeína ($P \leq 0,05$).
Reproducido de Del Coso et al.39 con permiso.

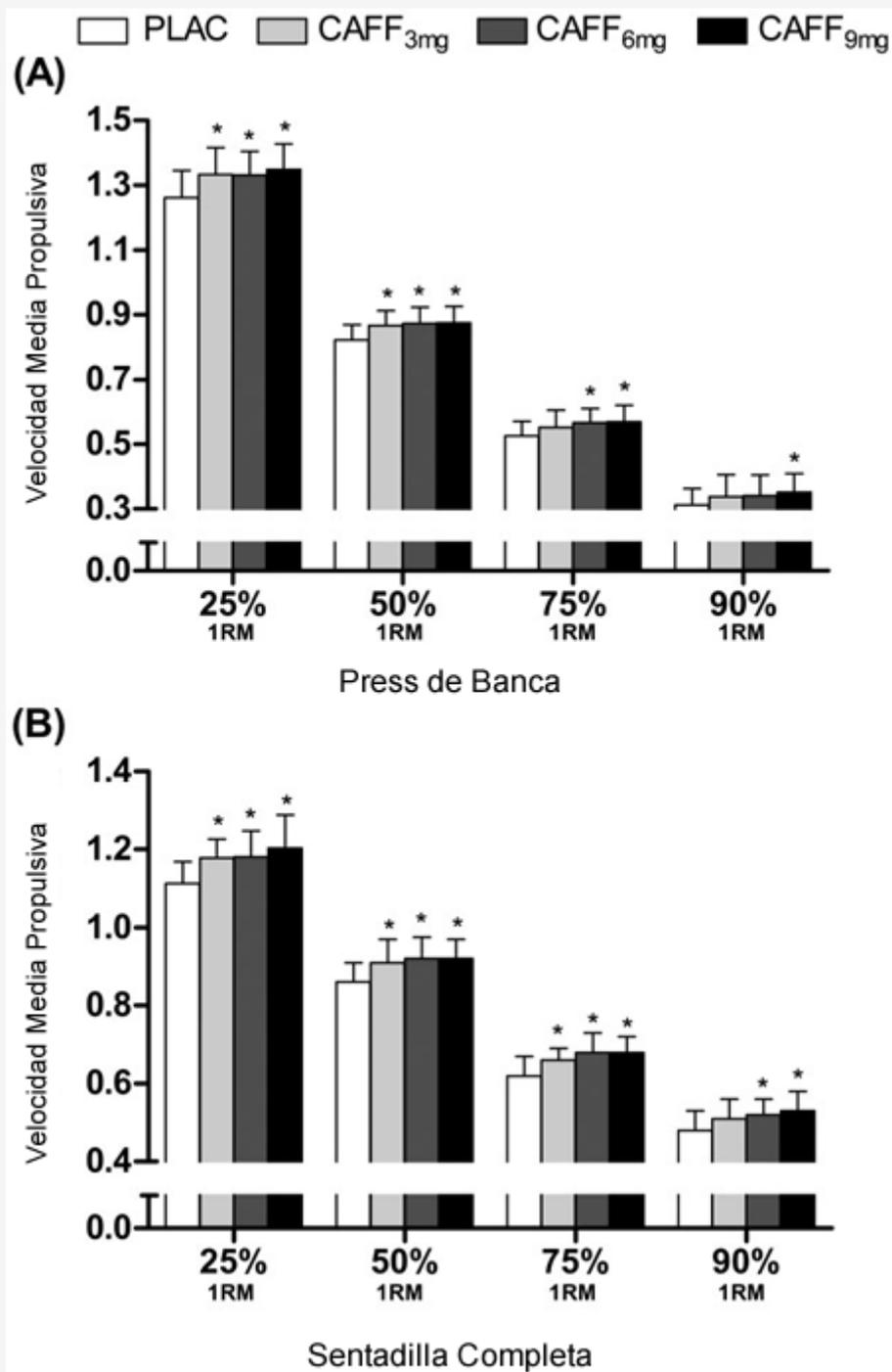


Figura 2. Efectos de dosis-respuesta de la ingesta de cafeína en la relación carga-velocidad para los ejercicios de press de banca (A) y sentadilla completa (B). Los datos son media \pm DE. *Diferencias significativas ($P \leq 0,05$) en comparación con el ensayo PLAC dentro de cada carga.

Reproducido de Pallarés et al.61 con permiso.

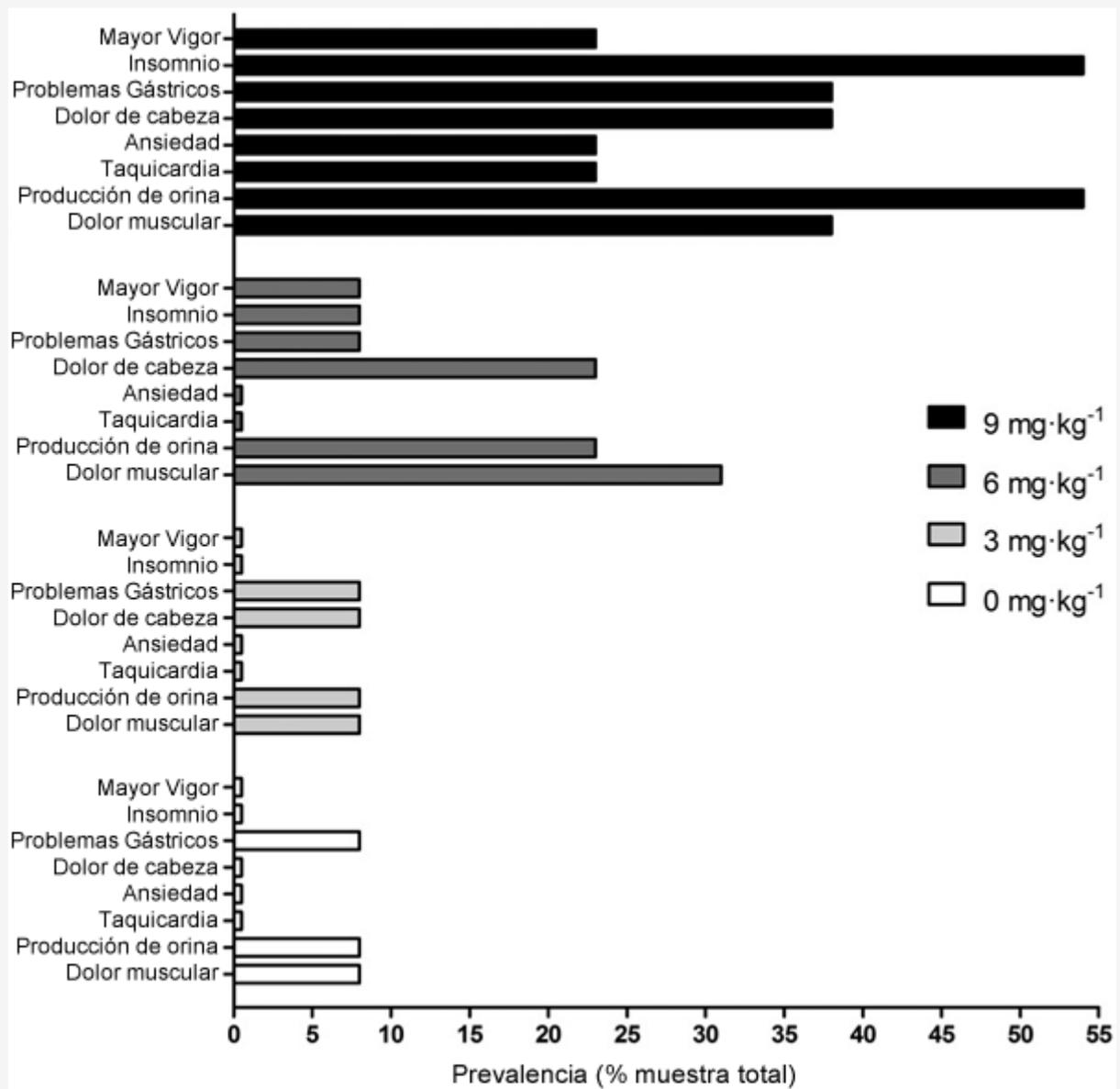


Figura 3. Respuesta a la dosis en los efectos secundarios de la ingestión de cafeína. Los datos se presentan como porcentaje de prevalencia.
 Reproducido de Pallarés et al.61 con permiso.

Tabla 1. Resumen de estudios con diseños cruzados, aleatorizados, doble ciegos que examinan los efectos de las bebidas energéticas en el rendimiento de resistencia.

Estudio	Sujetos	Consumo Habitual de Cafeína	Dosis	Protocolo	Resultados	Mejoras (%; ES)
Geiß et al., (1994) ⁴³	10 atletas de resistencia	No informado	3 Tratamientos 1) A: 500 ml de Red Bull regular 2) B: 500 ml de Red Bull solo con CHO y cafeína sin taurina 3) C: 500 ml de Red Bull solo con CHO sin cafeína o taurina (Dosis de cafeína en tratamientos A y B ~2,0 mg/kg)	60 min en bicicleta a 70% VO ₂ max seguido por un test incremental hasta el agotamiento	↑ Tiempo de Resistencia en A comparado al tratamiento B	14,9% y 0,74 ES*
					↑ Tiempo de resistencia en C comparado con tratamiento B	24,5% y 1,03 ES; 8,3% y 0,31, respectivamente*
Ivy et al., (2009) ⁴⁴	12 jóvenes ciclistas entrenados	No informados	2 Tratamientos: 1) 500 ml de Red Bull® (~2,0 mg/kg de cafeína) 2) 500 ml de agua placebo saborizada	Tiempo para completar una cantidad de trabajo equivalente a 1 h de ciclismo al 70% W _{máx}	↓ Tiempo requerido para completar el trabajo	4,7% y ES no disponible*
Candow et al., (2009) ⁴⁵	17 sujetos moderadamente entrenados	Rango, 50-200 mg/día	2 Tratamientos: 1) Volumen de Red Bull sin azúcar para entregar 2,0 mg/kg de cafeína 2) Mismo volumen de bebida energética placebo de agua saborizada disponible	Tiempo hasta el agotamiento o al 80% VO ₂ max corriendo en una cinta caminadora	Sin efectos significativos en el rendimiento	6,3% y 0,22 ES
Walsh et al., (2010) ⁴⁶	15 sujetos activos recreativamente	No informado	2 Tratamientos: 1) 500 ml de Amino Impact con 2,05 g de una mezcla de cafeína, taurina y glucuronolactona 2) 500 ml de agua placebo saborizada	Tiempo hasta el agotamiento o al 70% VO ₂ max corriendo en una cinta caminadora	↑ Tiempo hasta el agotamiento	12,5% y ES no disponible*
Schubert et al., (2013) ⁴⁷	6 corredores entrenados en resistencia	80 mg/día	3 Tratamientos: 1) 59 ml de Red Bull Energy Shot (~1,2 mg/kg de cafeína) 2) 59 ml de Yerba mate shot (2 mg/kg de cafeína) 3) 59 ml placebo	Tiempo para completar 5 km en una cinta caminadora	Sin efectos significativos en el rendimiento	1,8-2,4% 0,24-0,30 ES

*Diferencias significativas ($P < 0,05$).

Abreviaturas: CHO, carbohidratos; ES, tamaño del efecto.

Tabla 2. Resumen de estudios con diseños cruzados, aleatorizados, doble ciegos que examinan los efectos de las bebidas energéticas en el rendimiento basado en potencia.

Estudio	Sujetos	Consumo Habitual de Cafeína	Dosis de Bebida Energética	Protocolo	Resultados	Mejoras (%; ES)
Forbes et al., (2007) ⁵²	15 sujetos sanos físicamente activos	Desde ingenuo a >200 mg/día	2 Tratamientos: 1) 500 ml de Red Bull (~2,0 mg/kg de cafeína) 2) 500 ml de placebo isoenergético, isovolumétrico, no cafeinado	Número total de repeticiones de PB en 3 series al 70% 1RM	↑ repeticiones totales	5,9% y 0,24 ES*
				Potencia pico y media durante las repetidas pruebas de Wingate	Sin efecto significativo en la potencia pico o media de Wingate	0,1–1,7% y 0,01–0,11 ES
Wolf et al., (2008) ⁶¹	18 atletas masculinos altamente entrenados	40,8 ± 51,0 mg/día	2 Tratamientos: 1) Bebida auto-elaborada con 5 mg/kg de cafeína + 125 mg/kg de CHO 2) Bebida de placebo CHO	Peso total levantado en PB y press de piernas al fallo muscular	↑ peso total elevado en PB	15,5% y 0,69 ES*
				Prueba de Wingate de 30 s	↑ Potencia máxima de Wingate	5,1% y 0,56 ES*
Wolf et al., (2009) ⁵³	17 jugadores de fútbol colegial masculino	<50 mg/día	2 Tratamientos: 1) Bebida auto-elaborada con 5 mg/kg de cafeína + 125 mg/kg de CHO 2) bebida de placebo CHO	prueba de 40 yardas Prueba de 20 yardas Número total de repeticiones de PB con una carga absoluta fija (84 o 102 kg)	Sin efecto significativo en el rendimiento	<0,5% y ES <0,1
Hoffman et al., (2009) ⁵⁸	12 atletas masculinos entrenados en fuerza	No informado	2 Tratamientos: 1) 120 ml de Redline Xtreme (~2,0 mg/kg de cafeína) 2) 120 ml de agua saborizada de placebo	Prueba de Wingate 20 s	Sin efecto significativo sobre la potencia pico y media de Wingate	<1,5% y ES <0,2
Campbell et al., (2010) ⁵⁷	15 sujetos activos recreativamente	No informado	2 Tratamientos: 1) bebida energética comercializada (~2,1 mg/kg de cafeína) 2) bebida placebo CHO	Pruebas de Wingate de 2x20-s, separadas por 150 s	Sin efecto significativo sobre el rendimiento	1,0% y 0,03 ES

Campbell et al., (2010) ⁵¹	18 sujetos activos recreativamente	No informado	2 Treatments: 1) bebida energética comercializada (~2,1 mg/kg de cafeína) 2) bebida placebo CHO	Peso total levantado en 4 series de repeticiones de press de pierna y PB hasta el fallo a una intensidad del 80% 1RM	↑ peso total levantado en press de piernas	12,3% y 0,24 ES*
Duncan and Oxford, (2011) ⁵⁴	13 atletas entrenados moderadamente	Rango 169-250 mg/día	2 Tratamientos: 1) Bebida auto-elaborada con 5 mg/kg de cafeína diluida en 250 ml de agua endulzada artificialmente sin azúcar 2) 250 ml de agua placebo saborizada	Repeticiones al fallo a 60% de 1RM	↑ repeticiones totales y peso total levantado	8,9 a 9,4% 0,44 a 0,62 ES*
Duncan et al., (2012) ⁵⁵	13 atletas entrenados en fuerza	211 mg/día; rango, 120-400 mg/día	2 Tratamientos: 1) 250 ml de Quick Energy diluida (~3,0 mg/kg de cafeína) 2) 250 ml de agua placebo saborizada	PB, peso muerto, remo prono y sentadilla al fallo al 60% de 1RM	↑ repeticiones totales en todos los ejercicios	Promedio de 7,5% y 0,25 ES*
Gwacham and Wagner, (2012) ⁵⁹	20 futbolistas	Efecto significativo de interacción entre el uso de cafeína y el tratamiento de bebidas	2 Tratamientos: 1) 237 ml de AdvCare Spark (~1,2 mg/kg de cafeína) 2) 237 ml de agua placebo saborizada	Prueba de sprint anaeróbica basada en la carrera (RAST) 6 × 35 m/10 s	Sin efecto significativo sobre el rendimiento	0% y 0,0 ES
Astorino et al., (2012) ⁶⁰	15 jugadoras de fútbol sanas y jóvenes	Consumidores habituales	2 Tratamientos: 1) 255 ml de Red Bull (~1,3 mg/kg de cafeína) 2) 255 ml de bebida de placebo Canada Dry Ginger Ale (libre de cafeína y taurina)	Rendimiento de sprint repetido (prueba - 3 × 8 sprints)	Sin efecto significativo en el rendimiento	<1% y <0,1 ES
Eckerson et al., (2013) ⁵⁶	17 atletas entrenados en fuerza	<50 mg/día	3 Tratamientos 1) 500 ml de Red Bull sin azúcar (~2,0 mg/kg de mg/kg de taurina) 2) 500 ml de Red Bull sin azúcar (~2,0 mg/kg de cafeína sin taurina) 3) 500 ml de placebo sin placebo ni taurina	Fuerza de 1RM de PB y repeticiones a falla al 70% de 1RM	Sin efecto significativo en el rendimiento	<0,5% y ES <0,1

*Diferencias significativas ($P < 0,05$).

Abreviaturas: 1RM, 1 repetición máxima; CHO, carbohidratos; ES, tamaño del efecto.

REFERENCIAS

1. Applegate EA, Grivetti LE. (1997). Search for the competitive edge: a history of dietary fads and supplements. *J Nutr.* 1997;127:869S-873S.
2. European Food Safety Authority. (2011). Scientific opinion on the substantiation of health claims related to carbohydrate-electrolyte solutions. *EFSA J.* 2011;9:1-29.
3. Red Bull. Red Bull History. (2013). Available at: http://en.wikipedia.org/wiki/Red_Bull. Accessed 17 November.
4. McLellan TM, Lieberman HR. (2012). Do energy drinks contain active components other than caffeine? *Nutr Rev.* 2012;70:730-744.
5. Campbell B, Wilborn C, La Bounty P, et al. (2013). International society of sports nutrition position stand: energy drinks. *J Int Soc Sports Nutr.* 2013;10:1.
6. Sherman WM, Brodowicz G, Wright DA, et al. (1989). Effects of 4 h preexercise carbohydrate feedings on cycling performance. *Med Sci Sports Exerc.* 1989;21:598-604.
7. Dennis SC, Noakes TD, Hawley JA. (1997). Nutritional strategies to minimize fatigue during prolonged exercise: fluid, electrolyte and energy replacement. *J Sports Sci.* 1997;15:305-313.
8. Mettler S, Rusch C, Colombani P. (2006). Osmolality and pH of sport and other drinks available in Switzerland. *Sportmed Sporttraumatol.* 2006;54:92-95.
9. Vist GE, Maughan RJ. (1995). The effect of osmolality and carbohydrate content on the rate of gastric emptying of liquids in man. *J Physiol.* 1995;486(Pt 2):523-531.
10. Murray R, Bartoli W, Stofan J, et al. (1999). A comparison of the gastric emptying characteristics of selected sports drinks. *Int J Sport Nutr.* 1999;9:263-274.
11. Gisolfi CV, Summers RW, Lambert GP, et al. (1998). Effect of beverage osmolality on intestinal fluid absorption during exercise. *J Appl Physiol.* 1998;85:1941-1948.
12. Hamouti N, Del Coso J, Ortega JF, et al. (2011). Sweat sodium concentration during exercise in the heat in aerobically trained and untrained humans. *Eur J Appl Physiol.* 2011;111:2873-2881.
13. Hamouti N, Fernández-Elías VE, Ortega JF, et al. (2014). Ingestion of sodium plus water improves cardiovascular function and performance during dehydrating cycling in the heat. *Scand J Med Sci Sports.* 2014;24:507-518.
14. Graham TE. (2001). Caffeine and exercise - metabolism, endurance and performance. *Sports Med.* 2001;31:785-807.
15. Kovacs EMR, Stegen J, Brouns F. (1998). Effect of caffeinated drinks on substrate metabolism, caffeine excretion, and performance. *J Appl Physiol.* 1998;85:709-715.
16. Davis JM, Zhao ZW, Stock HS, et al. (2003). Central nervous system effects of caffeine and adenosine on fatigue. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* 2003;284:R399-R404.
17. Mora-Rodriguez R, Garcia Pallares J, Lopez-Samanes A, et al. (2012). Caffeine ingestion reverses the circadian rhythm effects on neuromuscular performance in highly resistance-trained men. *Plos One.* 2012;7:e33807. doi :10.1371/journal.pone.0033807
18. Montain SJ, Coyle EF. (1992). Influence of graded dehydration on hyperthermia and cardiovascular drift during exercise. *J Appl Physiol.* 1992;73:1340-1350.
19. Bardis CN, Kavouras SA, Kostis L, et al. (2013). Mild hypohydration decreases cycling performance in the heat. *Med Sci Sports Exerc.* 2013;45:1782-1789.
20. Wemple RD, Lamb DR, McKeever KH. (1997). Caffeine vs caffeine-free sports drinks: effects on urine production at rest and during prolonged exercise. *Int J Sports Med.* 1997;18:40-46.
21. Gonzalez-Alonso J, Heaps CL, Coyle EF. (1992). Rehydration after exercise with common beverages and water. *Int J Sports Med.* 1992;13:399-406.
22. Brown MB, McCarty NA, Millard-Stafford M. (2011). High-sweat Na⁺ in cystic fibrosis and healthy individuals does not diminish thirst during exercise in the heat. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* 2011;301:R1177-R1185.
23. Coso JD, Estevez E, Baquero RA, et al. (2008). Anaerobic performance when rehydrating with water or commercially available sports drinks during prolonged exercise in the heat. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2008;33:290-298.
24. European Commission Scientific Committee on Food. (2003). Opinion of the Scientific Committee on Food on Additional Information on "Energy" Drinks. 2003; Available at: http://ec.europa.eu/food/fs/sc/scf/out169_en.pdf. Accessed.
25. European Food Safety Authority. (2009). The use of taurine and d-glucurono- γ -lactone as constituents of the so-called "energy" drinks. *EFSA J.* 2009;9:35:1-31.
26. Huxtable RJ. (1992). Physiological actions of taurine. *Physiol Rev.* 1992;72:101-163.
27. Beyranvand MR, Khalafi MK, Roshan VD, et al. (2011). Effect of taurine supplementation on exercise capacity of patients with heart failure. *J Cardiol.* 2011;57:333-337.
28. Galloway SD, Talanian JL, Shoveller AK, et al. (2008). Seven days of oral taurine supplementation does not increase muscle taurine content or alter substrate metabolism during prolonged exercise in humans. *J Appl Physiol.* 2008;105:643-651.
29. Gentile S, Bologna E, Terracina D, et al. (1994). Taurine-induced diuresis and natriuresis in cirrhotic patients with ascites. *Life Sci.* 1994;54:1585-1593.
30. Riesenhuber A, Boehm M, Posch M, et al. (2006). Diuretic potential of energy drinks. *Amino Acids.* 2006;31:81-83.
31. Fulgraff G. Xanthinderivate als diuretika. (1969). In: Herken H, ed. *Handbuch der experimentellen pharmakologie.* Berlin: Springer Verlag; 1969.
32. Shirley DG, Walter SJ, Noormohamed FH. (2002). Natriuretic effect of caffeine: assessment of segmental sodium reabsorption in humans. *Clin Sci (Lond).* 2002;103:461-466.
33. Beutler JJ, Koomans HA, Bijlsma JA, et al. (1990). Renal actions of theophylline and atrial natriuretic peptide in humans: a comparison by means of clearance studies. *J Pharmacol Exp Ther.* 1990;255:1314-1319.

34. Izzo JL, Jr, Ghosal A, Kwong T, et al. (1983). Age and prior caffeine use alter the cardiovascular and adrenomedullary responses to oral caffeine. *Am J Cardiol.* 1983;52:769-773.
35. Rieg T, Steigele H, Schnermann J, et al. (2005). Requirement of intact adenosine A1 receptors for the diuretic and natriuretic action of the methylxanthines theophylline and caffeine. *J Pharmacol Exp Ther.* 2005;313:403-409.
36. Stookey JD. (1999). The diuretic effects of alcohol and caffeine and total water intake misclassification. *Eur J Epidemiol.* 1999;15:181-188.
37. Maughan RJ, Griffin J. (2003). Caffeine ingestion and fluid balance: a review. *J Hum Nutr Diet.* 2003;16:411-420.
38. Ragsdale FR, Gronli TD, Batool N, et al. (2010). Effect of Red Bull energy drink on cardiovascular and renal function. *Amino Acids.* 2010;38:1193-1200.
39. Rowell LB. (2011). Cardiovascular adjustments to thermal stress. In, ed. *Comprehensive Physiology*. ••: John Wiley & Sons, Inc.
40. Del Coso J, Estevez E, Mora-Rodriguez R. (2009). Caffeine during exercise in the heat: thermoregulation and fluid-electrolyte balance. *Med Sci Sports Exerc.* 2009;41:164-173.
41. Millard-Stafford ML, Cureton KJ, Wingo JE, et al. (2007). Hydration during exercise in warm, humid conditions: effect of a caffeinated sports drink. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2007;17:163-177.
42. Ely BR, Ely MR, Chevront SN. (2011). Marginal effects of a large caffeine dose on heat balance during exercise-heat stress. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2011;21:65-70.
43. Geiß KR, Jester I, Falke W, et al. (1994). The effect of a taurine-containing drink on performance in 10 endurance athletes. *Amino Acids.* 1994;7:45-56.
44. Ivy JL, Kammer L, Ding Z, et al. (2009). Improved cycling time-trial performance after ingestion of a caffeine energy drink. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2009;19:61-78.
45. Candow DG, Kleisinger AK, Grenier S, et al. (2009). Effect of sugar-free Red Bull energy drink on high-intensity run time-to-exhaustion in young adults. *J Strength Cond Res.* 2009;23:1271-1275.
46. Walsh AL, Gonzalez AM, Ratamess NA, et al. (2010). Improved time to exhaustion following ingestion of the energy drink amino impact. *J Int Soc Sports Nutr.* 2010;7:14.
47. Schubert MM, Astorino TA, Azevedo JL, Jr. (2013). The effects of caffeinated "energy shots" on time trial performance. *Nutrients.* 2013;5:2062-2075.
48. Tiedemann F, Gmelin L. (1827). Einige neue bestandtheile der galle des ochsen. *Ann Phys.* 1827;85:326-337.
49. Pettitt RW, Niemeyer JD, Sexton PJ, et al. (2013). Do the noncaffeine ingredients of energy drinks affect metabolic responses to heavy exercise? *J Strength Cond Res.* 2013;27:1994-1999.
50. Warren GL, Park ND, Maresca RD, et al. (2010). Effect of caffeine ingestion on muscular strength and endurance: a meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc.* 2010;42:1375-1387.
51. Campbell B, Downing J, Kilpatrick M, et al. (2010). The effects of a commercially available energy drink on resistance training performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2010;42:448.
52. Forbes SC, Candow DG, Little JP, et al. (2007). Effect of Red Bull energy drink on repeated Wingate cycle performance and bench-press muscle endurance. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2007;17:433-444.
53. Woolf K, Bidwell WK, Carlson AG. (2009). Effect of caffeine as an ergogenic aid during anaerobic exercise performance in caffeine naive collegiate football players. *J Strength Cond Res.* 2009;23:1363-1369.
54. Duncan MJ, Oxford SW. (2011). The effect of caffeine ingestion on mood state and bench press performance to failure. *J Strength Cond Res.* 2011;25:178-185.
55. Duncan MJ, Smith M, Cook K, et al. (2012). The acute effect of a caffeine-containing energy drink on mood state, readiness to invest effort, and resistance exercise to failure. *J Strength Cond Res.* 2012;26:2858-2865.
56. Eckerson JM, Bull AJ, Baechle TR, et al. (2013). Acute ingestion of sugar-free Red Bull energy drink has no effect on upper body strength and muscular endurance in resistance trained men. *J Strength Cond Res.* 2013;27:2248-2254.
57. Campbell B, Kilpatrick M, Wilborn C, et al. (2010). A commercially available energy drink does not improve peak power production on multiple 20-second Wingate tests. *J Int Soc Sports Nutr.* 2010;7:10.
58. Hoffman JR, Kang J, Ratamess NA, et al. (2009). Examination of a pre-exercise, high energy supplement on exercise performance. *J Int Soc Sports Nutr.* 2009;6:2.
59. Gwacham N, Wagner DR. Acute effects of a caffeine-aurine energy drink on repeated sprint performance of American college football players. (2012). *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2012;22:109-116.
60. Astorino TA, Matera AJ, Basinger J, et al. (2012). Effects of Red Bull energy drink on repeated sprint performance in women athletes. *Amino Acids.* 2012;42:1803-1808.
61. Woolf K, Bidwell WK, Carlson AG. (2008). The effect of caffeine as an ergogenic aid in anaerobic exercise. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2008;18:412-429.
62. Pallares JG, Fernandez-Elias VE, Ortega JF, et al. (2013). Neuromuscular responses to incremental caffeine doses: performance and side-effects. *Med Sci Sports Exerc.* 2013;45:2184-2192.
63. Izquierdo M, Hakkinen K, Gonzalez-Badillo JJ, et al. (2002). Effects of long-term training specificity on maximal strength and power of the upper and lower extremities in athletes from different sports. *Eur J Appl Physiol.* 2002;87:264-271.
64. Astorino TA, Terzi MN, Roberson DW, et al. (2010). Effect of two doses of caffeine on muscular function during isokinetic exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2010;42:2205-2210.
65. Glaister M, Howatson G, Abraham CS, et al. (2008). Caffeine supplementation and multiple sprint running performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2008;40:1835-1840.
66. Beck TW, Housh TJ, Malek MH, et al. (2008). The acute effects of a caffeine-containing supplement on bench press strength and time to running exhaustion. *J Strength Cond Res.* 2008;22:1654-1658.
67. Cox GR, Desbrow B, Montgomery PG, et al. (2002). Effect of different protocols of caffeine intake on metabolism and endurance performance. *J Appl Physiol.* 2002;93:990-999.
68. Conway KJ, Orr R, Stannard SR. (2003). Effect of a divided caffeine dose on endurance cycling performance, postexercise urinary

- caffeine concentration, and plasma paraxanthine. *J Appl Physiol.* 2003;94:1557-1562.
69. Magkos F, Kavouras SA. (2005). Caffeine use in sports, pharmacokinetics in man, and cellular mechanisms of action. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2005;45:535-562.
 70. Bonati M, Latini R, Galletti F, et al. (1982). Caffeine disposition after oral doses. *Clin Pharmacol Ther.* 1982;32:98-106.
 71. Kamimori GH, Karyekar CS, Otterstetter R, et al. (2002). The rate of absorption and relative bioavailability of caffeine administered in chewing gum versus capsules to normal healthy volunteers. *Int J Pharm.* 2002;234:159-167.
 72. Fredholm BB, Battig K, Holmen J, et al. (1999). Actions of caffeine in the brain with special reference to factors that contribute to its widespread use. *Pharmacol Rev.* 1999;51:83-133.
 73. Peters EM. (2003). Nutritional aspects in ultra-endurance exercise. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* 2003;6:427-434.
 74. Bell DG, McLellan TM. (2003). Effect of repeated caffeine ingestion on repeated exhaustive exercise endurance. *Med Sci Sports Exerc.* 2003;35:1348-1354.
 75. Chou DT, Khan S, Forde J, et al. (1985). Caffeine tolerance: behavioral, electrophysiological and neurochemical evidence. *Life Sci.* 1985;36:2347-2358.
 76. Ganio MS, Klau JF, Casa DJ, et al. (2009). Effect of caffeine on sport-specific endurance performance: a systematic review. *J Strength Cond Res.* 2009;23:315-324.
 77. Van Soeren MH, Graham TE. (1998). Effect of caffeine on metabolism, exercise endurance, and catecholamine responses after withdrawal. *J Appl Physiol.* 1998;85:1493-1501.
 78. Bell DG, McLellan TM. (2002). Exercise endurance 1, 3, and 6 h after caffeine ingestion in caffeine users and nonusers. *J Appl Physiol.* 2002;93:1227-1234.
 79. Wiles JD, Bird SR, Hopkins J, et al. (1992). Effect of caffeinated coffee on running speed, respiratory factors, blood lactate and perceived exertion during 1500-m treadmill running. *Br J Sports Med.* 1992;26:116-120.
 80. Tarnopolsky M, Cupido C. (2000). Caffeine potentiates low frequency skeletal muscle force in habitual and nonhabitual caffeine consumers. *J Appl Physiol.* 2000;89:1719-1724.
 81. Mora-Rodriguez R, Pallares JG, Lopez-Gullon JM, et al. (2014). Improvements on neuromuscular performance with caffeine ingestion depend on the time-of-day. *J Sci Med Sport.* 2014;E-pub ahead of print. doi:10.1016/j.jsams.2014.04.010.
 82. Gunja N, Brown JA. (2012). Energy drinks: health risks and toxicity. *Med J Aust.* 2012;196:46-49.
 83. Seifert SM, Seifert SA, Schaechter JL, et al. (2013). An analysis of energy-drink toxicity in the national poison data system. *Clin Toxicol (Phila).* 2013;51:566-574.
 84. Zucconi S, Volpato C, Adinolfi F, et al. (2013). Gathering consumption data on specific consumer groups of energy drinks. *Supporting Publications.* 2013;EN-394:190.
 85. Desbrow B, Leveritt M. (2007). Well-trained endurance athletes' knowledge, insight, and experience of caffeine use. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2007;17:328-339.

Cita Original

Mora-Rodriguez, R., y Pallarés, J. G. (2014). Performance outcomes and unwanted side effects associated with energy drinks. *Nutrition reviews*, 72 (suppl_1), 108-120.