



## CONSIDERACIONES DE MICRONUTRIENTES PARA LAS DEPORTISTAS

Alannah KA McKay PhD,<sup>1</sup> Marc Sim PhD,<sup>2</sup> Peter Peeling PhD<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Mary MacKillop Institute for Health Research, Australian Catholic University, Melbourne, VIC Australia; <sup>2</sup> Medical School, Royal Perth Hospital Unit, The University Western Australia, Perth, WA, Australia; <sup>3</sup> School of Human Sciences (Exercise and Sport Science), The University of Western Australia, Crawley, WA, Australia

### PUNTOS CLAVE

- Las mujeres pueden tener un mayor riesgo de deficiencias de ciertos micronutrientes (particularmente hierro, calcio, vitamina D y ácido fólico). Si bien es necesario considerar el enfoque de "alimentos primero", en algunos casos es posible requerir suplementos.
- La ingesta total de energía suele ser menor en las mujeres en comparación con los atletas masculinos. Esto puede dificultar el alcance de la ingesta dietética recomendada (DRI) de micronutrientes. Las situaciones de baja disponibilidad energética pueden agregar desafíos adicionales.
- El nivel y la regulación del hierro en las atletas puede impactarse por las fluctuaciones en las hormonas ováricas y la pérdida de sangre durante la menstruación. En consecuencia, la RDI de hierro es 2.5 veces mayor en las mujeres que en los hombres.
- La ingesta adecuada de calcio y los niveles circulantes de vitamina D son relevantes para mantener la salud ósea. En presencia de niveles bajos de estrógeno (amenorrea), estos micronutrientes son cada vez más importantes para limitar el riesgo de fracturas por estrés.
- El folato participa en la producción de glóbulos rojos nuevos. Por lo tanto, las atletas que planean embarazarse deben considerar la suplementación.

### INTRODUCCIÓN

Las vitaminas y los minerales son esenciales para numerosos procesos metabólicos y son fundamentales para apoyar la salud y el rendimiento de los atletas. Específicamente, los micronutrientes están involucrados en el funcionamiento inmunológico, la adaptación hematológica, el metabolismo energético, el crecimiento y la reparación. Así pequeñas deficiencias pueden conducir a grandes alteraciones metabólicas. Los atletas a menudo tienen mayores requerimientos de micronutrientes que la población general debido a la mayor utilización y/o pérdida de micronutrientes asociados con el ejercicio y la adaptación al entrenamiento. Por esta razón, los atletas pueden tener un mayor riesgo de deficiencias, ya que sus necesidades generales generalmente exceden la ingesta dietética recomendada (RDI por sus siglas en inglés). Cabe señalar que la alimentación es el medio principal (y preferido) para que el cuerpo obtenga gran parte de las vitaminas y minerales. Sin embargo, cuando las necesidades son altas, se pueden usar suplementos para ayudar a mantener sus concentraciones dentro de un rango apropiado. Debido a diferentes factores, las mujeres pueden correr un riesgo mayor de ciertas deficiencias de micronutrientes (McClung et al., 2014). Por lo tanto, sus necesidades nutricionales requieren una consideración adicional. El propósito de este artículo de Sports Science Exchange es revisar los requerimientos nutricionales de las atletas, con la intención específica de optimizar la ingesta y el nivel de micronutrientes en esta población.

### ¿QUÉ HACE ÚNICAS A LAS MUJERES?

Hay atributos biológicos y fenotípicos clave que diferencian a las mujeres de los hombres. Los hombres tienen una mayor masa muscular y ósea proporcional, mientras que las mujeres exhiben una mayor masa grasa y un menor volumen de sangre (y, en consecuencia menor masa de hemoglobina) (Blair, 2007). Estas características originan diferencias en el gasto cardíaco, la capacidad aeróbica, la regulación térmica y la producción de fuerza muscular entre sexos.

Otra diferencia clave es la presencia de diferentes hormonas esteroides asociadas con la reproducción. En los hombres, la testosterona es la principal hormona circulante, que tiene funciones reproductivas y anabólicas (Hackney, 1989); en las mujeres, las hormonas primarias son el estrógeno y la progesterona (Owen, 1975). Las concentraciones de estrógeno y progesterona cambian periódicamente a lo largo del ciclo menstrual, así como de forma crónica a lo largo de la vida (es decir, desde la pubertad hasta la menopausia). Otros factores que causan cambios en las concentraciones de hormonas ováricas incluyen el uso de anticonceptivos hormonales, el embarazo y/o los desequilibrios en la alimentación y el ejercicio. Colectivamente, estas diferencias morfológicas y hormonales entre sexos hacen que las mujeres sean únicas. Por lo tanto, los requerimientos de micronutrientes deben considerar tales diferencias.

### CONSIDERACIONES NUTRICIONALES DE LAS DEPORTISTAS

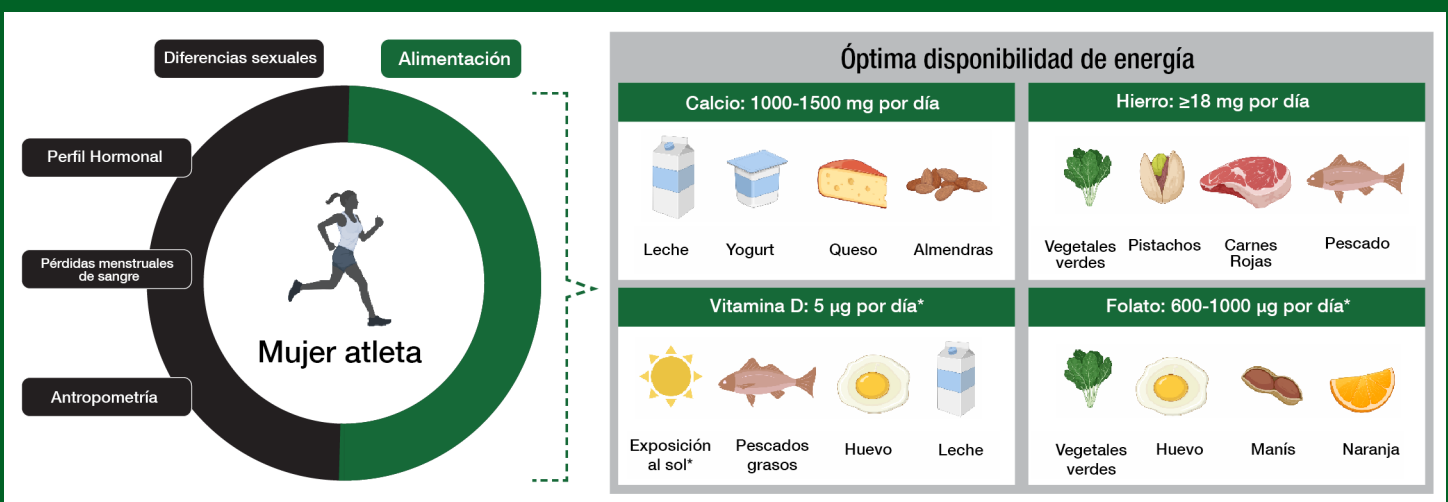
Actualmente, debido a la falta de investigación de calidad, no hay suficientes evidencias para proporcionar consejos nutricionales a las atletas adaptados a su estado o ciclo menstrual (Holtzman & Ackerman, 2021). Por ejemplo, si nos enfocamos en un solo macronutriente, carbohidratos, revisiones recientes encontraron que solo el 11% de los participantes en estudios que examinan estrategias de alimentación aguda (Kuikman et al., 2023) y el 16% de los participantes en estudios que examinan estrategias de alimentación crónica (Kuikman et al., por publicar) eran mujeres. Además, de la investigación existente sobre mujeres, solo el 6.6 y el 0.8% de los estudios que examinaron estrategias de alimentación aguda y crónica, respectivamente, utilizaron un control metodológico adecuado de los perfiles hormonales ováricos (Kuikman et al., 2023; por publicar). En consecuencia, dada la escasez de datos que examinan los requisitos nutricionales de las atletas, es casi imposible proporcionar consejos específicos para el estado menstrual o durante todo el ciclo menstrual.

El intento más práctico de considerar a las mujeres en las pautas actuales de nutrición deportiva ha sido escalar la ingesta de energía y macronutrientes por su tamaño corporal (en lugar de cantidades absolutas), en reconocimiento a su tamaño corporal a menudo más pequeño. En consecuencia, las necesidades absolutas de ingesta de energía de las atletas suelen ser menores que los de los hombres, y esto se asocia comúnmente con una menor ingesta de micronutrientes. Esto es contraintuitivo, ya que la RDI de algunos micronutrientes es igual o mayor para las mujeres en comparación con los hombres. Por ejemplo, se ha demostrado que una dieta occidental típica proporciona ~6 mg de hierro dietético por cada 1000 kcal de energía (Thomas et al., 2016). Para que un hombre alcance la ingesta diaria recomendada de hierro (8 mg/día), solo necesitaría 1330 kcal, en comparación con una mujer que necesitaría consumir 3000 kcal para alcanzar su ingesta diaria recomendada (18 mg/día); ¡Esto es un 56% más de ingesta calórica! Así, consumir una ingesta adecuada de micronutrientes a través de la alimentación puede ser más desafiante para las mujeres debido a la dicotomía de requerir mayores cantidades de micronutrientes a partir de ingestas de energía más pequeñas. Para agravar este problema, es más probable que las mujeres se adhieran a dietas especiales que pueden restringir la ingesta de micronutrientes. Por ejemplo, las dietas vegetarianas/veganas son más bajas en fuentes de hierro hemo, que se sabe que tienen una capacidad de absorción superior. Además, las atletas que restringen los productos lácteos (p. ej., dietas sin lactosa) corren un mayor riesgo de ingesta inadecuada de calcio, lo cual es problemático debido a su mayor necesidad de calcio en comparación con los hombres.

Otro escenario que puede conducir a una disponibilidad inadecuada de micronutrientes es cuando los atletas se encuentran en un estado de baja disponibilidad de energía (BDE). Es importante destacar que los atletas deben consumir suficientes calorías para satisfacer sus necesidades energéticas diarias y mantener un funcionamiento fisiológico normal. La baja disponibilidad de energía ocurre cuando hay un desajuste entre la ingesta de energía y su gasto. Una BDE

prolongada puede conducir al desarrollo de la tríada de atletas femeninos y masculinos (Nattiv et al., 2021) y/o deficiencia energética relativa en el deporte (REDS por su siglas en inglés) (Mountjoy et al., 2018), donde se notan efectos negativos significativos sobre la salud y el rendimiento. Hay evidencias que sugieren que una BDE y sus condiciones asociadas son más prevalentes en mujeres que en hombres (Jesus et al., 2021), sin embargo, esto puede deberse al reconocimiento relativamente reciente de estas condiciones en poblaciones masculinas (Mountjoy et al., 2014; Nattiv et al., 2021), además de las dificultades asociadas a la definición y medición de la BDE en los atletas (Burke et al., 2018). Curiosamente, los RED y la tríada pueden ser particularmente desfavorables para las mujeres. Por ejemplo, un estudio previo demostró que la salud ósea puede verse afectada negativamente por una exposición breve a una BDE (5 días a 15 kcal/kg de masa libre de grasa en mujeres, pero no en hombres (Papageorgiou et al., 2017)). Esto puede implicar que los varones sean más resistentes a algunos de los efectos posteriores de BDE, lo que les permite una exposición más grave a BDE antes de que se observen deficiencias fisiológicas (De Souza et al., 2019).

Las dietas con BDE no solo están asociadas con una menor ingesta de micronutrientes (McKay et al., 2022), sino que hay evidencia que sugiere que una BDE puede afectar negativamente la regulación y absorción de algunos micronutrientes. De hecho, se ha pensado que la BDE está asociada con aumentos en la hormona reguladora del hierro, la hepcidina (McKay et al., 2020), que limita la cantidad de hierro que se puede absorber de los alimentos, lo que con el tiempo podría conducir a su deficiencia. Actualmente, la interacción entre BDE y los micronutrientes no se comprende bien y probablemente esté mediada por otros factores afectados por la BDE, como las concentraciones de hormonas ováricas, las restricciones de macronutrientes y/o el aumento de las cargas de entrenamiento. Lo que es evidente es que, con o sin BDE, las atletas pueden tener un mayor riesgo de deficiencias de micronutrientes. De hecho, se ha informado que la deficiencia de hierro es ~3 veces más común en las atletas (15-35 %) en comparación con atletas masculinos



**Figura 1:** Representación gráfica de las diferencias sexuales y las consideraciones alimentarias de las mujeres atletas. Creado por biorender.com

\* Una exposición segura al sol depende de la ubicación geográfica y la temporada.

(3-11 %) (Sim et al., 2019). Además, una salud ósea deficiente es muy frecuente en las atletas (Chen et al., 2013), lo que hace que la ingesta adecuada de calcio y vitamina D sea cada vez más importante para ellas. Específicamente, se estima que el 9.7% de las atletas experimentan fracturas por estrés en comparación con el 6.5% de sus contrapartes masculinas (Chen et al., 2013). Por lo tanto, es importante comprender las necesidades de micronutrientes de las atletas y considerar si esto se puede lograr mediante la optimización de la alimentación o si es necesaria la suplementación. Las siguientes secciones revisan las recomendaciones para cuatro micronutrientes clave (Figura 1) y las implicaciones para las atletas.

## HIERRO

El hierro es un micronutriente clave que tiene numerosas funciones en el cuerpo, incluido el transporte de oxígeno y el metabolismo energético. Se considera que los atletas corren un mayor riesgo de deficiencia de hierro debido a que lo pierden por diferentes vías (sudoración, hemólisis, hemorragia gastrointestinal), y a que puede producirse una reducción de la absorción de hierro en el ejercicio debido a aumentos transitorios en las concentraciones de hepcidina (Peeling et al., 2008). Se estima que se requieren 1-2 mg de hierro/día adicionales para reponer las pérdidas relacionadas con el ejercicio (Nielsen & Nachtigall, 1998) y que probablemente se requiera una RDI más alta para las poblaciones atléticas. Cuando las pérdidas no se reemplazan adecuadamente, puede ocurrir una deficiencia de hierro, con o sin anemia. Si no se trata, la producción alterada de glóbulos rojos puede afectar tanto la salud como el rendimiento.

Las atletas enfrentan desafíos adicionales cuando se trata de mantener reservas saludables de hierro. En primer lugar, el hierro perdido durante la menstruación puede ser un factor importante cuando se considera su balance, con estimaciones que sugieren que se pierden entre 5 y 40 mg de hierro en cada ciclo (Harvey et al., 2005). Además, el sangrado menstrual abundante (SMA) es una condición que parece muy frecuente en las atletas (Bruinvels et al., 2016), lo que origina mayores pérdidas de hierro y aumenta su susceptibilidad a la deficiencia de hierro. Es de destacar que el uso de píldoras anticonceptivas orales puede ayudar en el manejo del SMA y, posteriormente, en el manejo de la deficiencia de hierro. Sin embargo, tales enfoques solo deben considerarse bajo supervisión médica.

Otra diferencia entre los sexos se relaciona con el impacto de las hormonas esteroides en la hormona reguladora del hierro, la hepcidina. Se ha demostrado que el estrógeno tiene efectos inhibitorios sobre la hepcidina (Yang et al., 2012), lo que significa que la absorción de hierro puede aumentar durante los momentos en que el estrógeno está elevado (es decir, las fases 2 y 4 del ciclo menstrual) (Elliott-Sale et al., 2021). Así, la ingesta de hierro alrededor de estas fases puede brindar la oportunidad de recuperar la pérdida neta de hierro que ocurre con la menstruación. Sin embargo, aunque el respaldo teórico para esta asociación es sólido, los estudios en humanos no están claros (Alfaro-Magallanes et al., 2022; Barba-Moreno et al., 2022). Por lo tanto, se requiere más investigación para explorar esta idea. En los hombres, se cree que la testosterona tiene efectos similares a los del estrógeno al suprimir los niveles de hepcidina (Hennigar et al., 2020). Sin embargo, dado que las concentraciones de testosterona

permanecen relativamente estables día a día, es probable que la capacidad general para absorber hierro sea mayor en los hombres que en las mujeres. En conjunto, estos factores explican las tasas más altas de deficiencia de hierro en las atletas en comparación con los atletas masculinos (15-35 % versus 3-11 %) (Sim et al., 2019). Las mayores pérdidas de hierro observadas en las mujeres también se reflejan en la RDI de hierro, lo que sugiere que ellas requieren 18 mg de hierro/día, en comparación con solo 8 mg/hierro por día en los hombres. Sin embargo, estas recomendaciones se crearon para la población general y probablemente sean mucho más altas en los deportistas. Dada esta disparidad, las atletas deben someterse a exámenes de detección de deficiencia de hierro a intervalos de 6 meses y con mayor frecuencia (trimestralmente) en casos de compromiso de hierro conocido, BDE, adherencia a dietas especiales y/o trastornos menstruales (amenorrea). Para más información, consulte el artículo #239 de Sport Science Exchange, que resume las demandas específicas de hierro para los atletas.

## CALCIO

Al considerar los huesos, tanto el calcio como la vitamina D se han investigado en atletas, a menudo en el contexto de la prevención de lesiones (p. ej., fractura por estrés). En la población general, hombres y mujeres menores de 50 años tienen una RDI similar de 1000 mg/día de calcio. Esto aumenta a 1300 mg/día en mujeres posmenopáusicas (50 años o más) debido a niveles más bajos de estrógeno; una hormona que ayuda a aumentar la absorción y retención de calcio en los huesos (Departamento de Salud del Gobierno de Australia, 2021). Para los atletas, el Comité Olímpico Internacional (COI) ha sugerido una RDI de 1500 mg/d para satisfacer las mayores demandas metabólicas para apoyar la salud ósea (Mountjoy et al., 2014). Idealmente, esto debe distribuirse a lo largo del día (en porciones de <500 mg) para maximizar la absorción (Harvey et al., 1988). Cabe señalar que esta ingesta adicional de calcio es especialmente relevante en atletas amenorreicas para maximizar la oportunidad de absorción en presencia de niveles bajos de estrógeno. Como era de esperarse, las atletas amenorreicas tienen hasta cuatro veces más probabilidades de sufrir una fractura por estrés que las que menstrúan (Heikura et al., 2018).

Al considerar poblaciones atléticas, el ejercicio intenso prolongado también puede conducir a una mayor pérdida de calcio a través del sudor. En combinación con una baja ingesta de calcio en la alimentación se pueden reducir los niveles de calcio circulante. En respuesta, debido a la estimulación de la hormona paratiroidea (HPT), el cuerpo buscará aumentar los niveles de calcio circulante al descomponer el hueso (mediante células específicas llamadas osteoclastos). Con el tiempo, esto puede comprometer la integridad del hueso y, en última instancia, predisponer al individuo a la osteoporosis y la fractura (Rowe et al., 2022). Dichos eventos pueden ser especialmente relevantes para las atletas que presentan RED. Cuando se considera a las adolescentes, la masa ósea máxima suele alcanzarse a los 20 años (algunos hasta los 30 años) (Tan et al. En prensa). En consecuencia, la exposición a una BDE prolongada, especialmente durante la adolescencia, puede tener graves consecuencias para los huesos a largo plazo. Específicamente, la aparición temprana de osteoporosis (usualmente 50 años o menos) predispone a una persona a sufrir fracturas por fragilidad el resto de su vida (Mäkitie & Zillikens, 2022).

Los atletas pueden satisfacer sus necesidades de calcio a través de múltiples porciones de productos lácteos (p. ej., leche, yogures, queso) o varias porciones diarias de fuentes vegetales (p. ej., vegetales de hoja verde, brócoli, soja o bebida enriquecida a base de plantas). La leche de vaca tiene una alta biodisponibilidad de calcio con una tasa de absorción fraccional del 32 % (Weaver et al., 1999), pero muchos alimentos de origen vegetal tienen tasas de absorción similares o mejores (Lombardi et al., 2013). En particular, el yogur, la leche de vaca, el tofu y la col china (bok choy) representan buenas fuentes de calcio con algunas de las tasas de absorción más altas. En el caso de que no se pueda lograr una ingesta adecuada de calcio solo con la alimentación, se pueden considerar suplementos de calcio (un total de 1000-1500 mg/día) bajo supervisión médica. Finalmente, los atletas deben ser conscientes de las posibles interacciones entre los suplementos de calcio y otros medicamentos (o suplementos) debido a que ciertas combinaciones tienen efectos negativos. Por ejemplo, tomar suplementos de calcio y hierro al mismo tiempo puede reducir la absorción de ambos minerales. Además, los suplementos de calcio pueden interferir con ciertos medicamentos como los antibióticos, los bisfosfonatos (para prevenir la pérdida ósea) y la terapia de reemplazo de hormona tiroidea, comprometiendo así la eficacia del medicamento.

## VITAMINA D

La vitamina D es un micronutriente clave que contribuye a muchos procesos fisiológicos relevantes para los atletas, incluida la remodelación del músculo esquelético, la función muscular, la inmunidad, la estructura, la función cardíaca y la salud ósea. Se estima que entre el 33 y 42 % de las atletas presentan insuficiencia de vitamina D, siendo el tipo de atleta, la temporada ambiental y la latitud geográfica factores contribuyentes (Ogan & Pritchett, 2013). La Fundación Internacional de Osteoporosis sugiere que niveles circulantes de vitamina D (25-hidroxivitamina D, 25(OH)D) entre 25-49 nmol/L indican deficiencia y 75-110 nmol/L representan adecuación (Fundación Internacional de Osteoporosis, 2022)). Sin embargo, todavía existe un gran debate sobre cómo se refleja esto en los atletas, aunque típicamente, 25(OH)D por debajo de 25 nmol/L define la deficiencia (Owens et al., 2018). Hasta la fecha, no se ha llegado a un acuerdo sobre los umbrales de insuficiencia o los niveles óptimos en los deportistas. La exposición solar adecuada (depende en gran medida de la ubicación geográfica/temporada) y la ingesta alimentaria (presente en el pescado graso, la yema de huevo y la leche fortificada) son importantes para optimizar los niveles de 25(OH)D. Sin embargo, donde las deficiencias son evidentes, la suplementación con 2000-4000 UI de vitamina D3/día puede ser beneficiosa (Owens et al., 2018). Específicamente para las mujeres, la vitamina D también tiene un papel clave en la producción de estrógeno (Kinuta et al., 2000) y, por lo tanto, los efectos de su deficiencia pueden ser amplios afectando la salud ósea, el estado menstrual y la fertilidad (Shahrokhi et al., 2016).

Una de las funciones clave de la vitamina D es optimizar la absorción de calcio y la mineralización ósea. En consecuencia, es probable que los atletas con deficiencia de vitamina D tengan un mayor riesgo de fracturas por estrés (Millward et al., 2020). En particular, en un estudio en el que los atletas tenían niveles de 25(OH)D  $\geq$  75 nmol/L, se absorbió aproximadamente el 30 % del calcio de la alimentación en comparación con solo el 10-15 % cuando la 25(OH)D era  $<$  50

nmol/L (Larson- Mayer, 2015). La estrecha relación entre el calcio y la vitamina D está bien establecida y es evidente en la mayoría de los suplementos comerciales de calcio que también contienen vitamina D (colecalciferol). Dado que las fracturas por estrés y una salud ósea deficiente son particularmente evidentes en las atletas (Chen et al., 2013), es importante garantizar una ingesta suficiente de calcio y vitamina D, por lo que un suplemento combinado es una opción conveniente cuando se sospecha de deficiencias coexistentes.

## FOLATOS

El folato es otra vitamina importante para los deportistas, una vitamina B que tiene un papel fundamental en la producción de glóbulos rojos nuevos. Una deficiencia de folato producirá anemia y en consecuencia disminuciones de rendimiento. Alimentos como las legumbres, las verduras de hojas verdes oscuras, las naranjas y los huevos son naturalmente ricos en folato. En muchos países, ingredientes comunes como la harina de trigo y los cereales para el desayuno, están fortificados con folato sintético (ácido fólico). Un escenario común de deficiencia de folato ocurre en las mujeres durante el embarazo, donde se estima que sus demandas asociadas con el crecimiento y desarrollo fetal son ~2 veces mayores (McPartlin et al., 1993). Este es particularmente el caso cuando una atleta continúa entrenando durante su embarazo, ya que el estrés hematológico adicional de los altos volúmenes de ejercicio puede acelerar la progresión de la deficiencia. La RDI para apoyar la salud reproductiva y el crecimiento fetal es de 600  $\mu$ g de equivalentes de folato dietético (EFD) de ácido fólico, un mes antes y durante el embarazo (Departamento de Salud del Gobierno de Australia, 2021). Sin embargo, estas recomendaciones están dirigidas a la población general. Aún no se han establecido los requerimientos de folato para las atletas y las embarazadas. Sin embargo, dado que la mayoría de los suplementos vitamínicos prenatales contienen entre 800 y 1000  $\mu$ g de EFD de ácido fólico, esto debería ser apropiado para atletas a menos que presenten una deficiencia previa. No obstante, dada la falta de investigación en el área, se recomienda encarecidamente la consulta individualizada y la detección de deficiencias de nutrientes durante el embarazo. Finalmente, hay estudios que muestran que el uso de anticonceptivos orales está asociado con concentraciones reducidas de folato en plasma y glóbulos rojos (Shere et al., 2015). Por lo tanto, las atletas que usan anticonceptivos orales pueden buscar aumentar el consumo de folato, particularmente si planean un embarazo.

## APLICACIONES PRÁCTICAS

- Las atletas deben trabajar con su nutricionista deportivo para incluir alimentos reales ricos en nutrientes dentro de sus necesidades energéticas diarias.
- Los suplementos pueden tener un papel útil para corregir una deficiencia (ej., hierro) o garantizar una ingesta adecuada para mantener los procesos fisiológicos (es decir, salud ósea, adaptación hematológica).
- Esto puede ser más importante para las atletas que tienen mayores pérdidas y/o requerimientos de micronutrientes.
- En esta etapa, no se pueden proporcionar pautas nutricionales generalizadas a las atletas en función del estado y/o la fase menstrual. Comprender cómo el ciclo menstrual y el uso de

anticonceptivos hormonales afectan la regulación de nutrientes puede ayudar a desarrollar estrategias individualizadas para minimizar las deficiencias de micronutrientes.

## RESUMEN

Las atletas pueden tener un mayor riesgo de deficiencias de micronutrientes. En un enfoque de “alimentos primero” garantizar una ingesta adecuada de energía y una alimentación rica en nutrientes es importante. Sin embargo, en ciertas situaciones, las atletas pueden requerir un suplemento vitamínico o mineral para satisfacer sus necesidades diarias de micronutrientes. El hierro, el calcio, la vitamina D y el folato se identifican como micronutrientes que requieren mayor atención en las deportistas. Al considerar la suplementación con hierro, calcio y vitamina D, las mujeres están bien representadas en la literatura (71 %), probablemente debido a sus tasas más altas de deficiencias (Smith et al., 2022). Sin embargo, aún se necesita una mayor comprensión del estado menstrual, especialmente en las atletas de élite (Smith et al., 2022). Finalmente, es importante tener en cuenta que para todos los micronutrientes, la suplementación no proporcionará un efecto ergogénico y no debe usarse para mejorar el rendimiento, sino para corregir una deficiencia. De hecho, muchos de estos micronutrientes son tóxicos en dosis altas y, por lo tanto, la decisión de complementar debe tomarse en consulta con un nutricionista deportivo capacitado.

Las opiniones expresadas pertenecen a los autores y no reflejan necesariamente la posición o política de PepsiCo, Inc.

## REFERENCIAS

- Alfaro-Magallanes, V.M., L. Barba-Moreno, N. Romero-Parra, B. Rael, P.J. Benito, D.W. Swinkels, C.M. Laarakkers, A.E. Diaz, A.B. Peinado, and F.S.G. Iron (2022). Menstrual cycle following interval running exercise in endurance- affects iron homeostasis and hepcidin trained women. *Eur. J. Appl. Physiol.* 122:2683-2694.
- Australian Government Department of Health (2021). Nutrient reference values for Australia and New Zealand - Calcium. Eat for Health. Retrieved March 21st 2023, from <https://www.eatforhealth.gov.au/nutrient-reference-values>
- Barba-Moreno, L., V.M. Alfaro-Magallanes, X. de Jonge, A.E. Diaz, R. Cupeiro, and A.B. Peinado (2022). Hepcidin and interleukin-6 responses to endurance exercise over the menstrual cycle. *Eur. J. Sport Sci.* 22:218-226.
- Blair, M.L. (2007). Sex-based differences in physiology: what should we teach in the medical curriculum? *Adv. Physiol. Educ.* 31:23-25.
- Bruinvels, G., R. Burden, N. Brown, T. Richards, and C. Pedlar (2016). The prevalence and impact of heavy menstrual bleeding among athletes and mass start runners of the 2015 London Marathon. *Br. J. Sports Med.* 50:566-566.
- Burke, L.M., B. Lundy, I.L. Fahrenholtz, and A.K. Melin (2018). Pitfalls of conducting and interpreting estimates of energy availability in free-living athletes. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 28:350-363.
- Chen, Y.T., A.S. Tenforde, and M. Fredericson (2013). Update on stress fractures in female athletes: epidemiology, treatment, and prevention. *Curr. Rev. Musculoskelet. Med.* 6:173-181.
- De Souza, M.J., K.J. Koltun, and N.I. Williams (2019). The role of energy availability in reproductive function in the female athlete triad and extension of its effects to men: an initial working model of a similar syndrome in male athletes. *Sports Med.* 49(Suppl 2):125-137.
- Elliott-Sale, K.J., C.L. Minahan, X.A.J. de Jonge, K.E. Ackerman, S. Sipilä, N.W. Constantini, C.M. Lebrun, and A.C. Hackney (2021). Methodological considerations for studies in sport and exercise science with women as participants: a working guide for standards of practice for research on women. *Sports Med.* 51:843-861.
- Hackney, A.C. (1989). Endurance training and testosterone levels. *Sports Med.* 8:117-127.
- Harvey, J.A., M.M. Zobitz, and C.Y. Pak (1988). Dose dependency of calcium absorption: a comparison of calcium carbonate and calcium citrate. *J. Bone Miner. Res.* 3:253-258.
- Harvey, L.J., C.N. Armah, J.R. Dainty, R.J. Foxall, D.J. Lewis, N.J. Langford, and S.J. Fairweather-Tait (2005). Impact of menstrual blood loss and diet on iron deficiency among women in the UK. *Br. J. Nutr.* 94:557-564.
- Heikura, I.A., A.L. Uusitalo, T. Stellingwerff, D. Bergland, A.A. Mero, and L.M. Burke (2018). Low energy availability is difficult to assess but outcomes have large impact on bone injury rates in elite distance athletes. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 28:403-411.
- Hennigar, S.R., C.E. Berryman, M.N. Harris, J.P. Karl, H.R. Lieberman, J.P. McClung, J.C. Rood, and S.M. Pasiakos (2020). Testosterone administration during energy deficit suppresses hepcidin and increases iron availability for erythropoiesis. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 105:dgz316.
- Holtzman, B., and K.E. Ackerman (2021). Recommendations and nutritional considerations for female athletes: Health and performance. *Sports Med.* 51:43-57.
- International Osteoporosis Foundation. (2022). Vitamin D. Prevention. Retrieved March 30th 2023, from <https://www.osteoporosis.foundation/health-professionals/prevention/nutrition/vitamin-d>
- Jesus, F., I. Castela, A.M. Silva, P.A. Branco, and M. Sousa (2021). Risk of low energy availability among female and male elite runners competing at the 26th European cross-country championships. *Nutrients* 13:873.
- Kinuta, K., H. Tanaka, T. Moriwake, K. Aya, S. Kato, and Y. Seino (2000). Vitamin D is an important factor in estrogen biosynthesis of both female and male gonads. *Endocrinology* 141:1317-1324.
- Kuikman, M., E.S. Smith, A.K.A. McKay, K.E. Ackerman, R. Harris, K.J. Elliott-Sale, T. Stellingwerff, and L.M. Burke (2023). Fuelling the female athlete: auditing her representation in studies of acute carbohydrate intake for exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 55:569-580.
- Kuikman, M.A., A.K.A. McKay, E.S. Smith, K.E. Ackerman, R. Harris, K.J. Elliott-Sale, T. Stellingwerff, and L.M. Burke (In Press). Female athlete representation and dietary control methods among studies assessing chronic carbohydrate approaches to support training. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* In Press.
- Larson-Meyer, D. (2015). The importance of vitamin D for athletes. *Sports Sci. Exch.* 28:1-8.
- Lombardi, G., G. Lippi, and G. Banfi (2013). Iron requirements and iron status of athletes. The Encyclopaedia of Sports Medicine: an IOC Medical Commission publication, 19:229-241.
- Mäkitie, O., and M.C. Zillikens (2022). Early-onset osteoporosis. *Calcif. Tissue Int.* 110:546-561.
- McClung, J.P., E. Gaffnew-Stomberg, and J.J. Lee (2014). Female athletes: A population at risk of vitamin and mineral deficiencies affecting health and performance. *J. Trace Elem. Med. Biol.* 28:388-392.
- McKay, A.K.A., D.B. Pyne, L.M. Burke, and P. Peeling (2020). Iron metabolism: interactions with energy and carbohydrate availability. *Nutrients* 12:3692.
- McKay, A.K., P. Peeling, D.B. Pyne, N. Tee, J. Whitfield, A.P. Sharma, I.A. Heikura, and L.M. Burke (2022). Six days of low carbohydrate, not energy availability, alters the iron and immune response to exercise in elite athletes. *Med. Sci. Sports Exerc.* 54:337-387.
- McPartlin, J., A. Halligan, J.M. Scott, M. Darling, and D.G. Weir (1993). Accelerated folate breakdown in pregnancy. *Lancet* 341:148-149.
- Millward, D., A.D. Root, J. Dubois, R.P. Cohen, L. Valdivia, B. Helming, J. Kokoskie, A.L. Waterbrook, and S. Paul (2020). Association of serum vitamin D levels and stress fractures in collegiate athletes. *Orthop. J. Sports Med.* 8:2325967120966967.
- Mountjoy, M., J. Sundgot-Borgen, L. Burke, S. Carter, N. Constantini, C. Lebrun, N. Meyer, R. Sherman, K. Steffen, and R. Budgett (2014). The IOC consensus statement: beyond the female athlete triad—Relative Energy Deficiency in Sport (RED-S). *Br. J. Sports Med.* 48:491-497.
- Mountjoy, M., J. Sundgot-Borgen, L. Burke, K.E. Ackerman, C. Blauwet, N. Constantini, C. Lebrun, B. Lundy, A. Melin, and N. Meyer (2018). International Olympic Committee (IOC) consensus statement on Relative Energy Deficiency in Sport (RED-S): 2018 Update. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 28:316-331.

- Nattiv, A., M.J. De Souza, K.J. Koltun, M. Misra, A. Kussman, N.I. Williams, M.T. Barrack, E. Kraus, E. Joy, and M. Fredericson (2021). The male athlete triad—a consensus statement from the Female and Male Athlete Triad Coalition Part 1: Definition and scientific basis. *Clin. J. Sport Med.* 31:335-348.
- Nielsen, P., and D. Nachtigall (1998). Iron supplementation in athletes. *Current recommendations. Sports Med.* 26:207-216.
- Ogan, D., and K. Pritchett (2013). Vitamin D and the athlete: risks, recommendations, and benefits. *Nutrients* 5:1856-1868.
- Owen, J.A., Jr. (1975). Physiology of the menstrual cycle. *Am. J. Clin. Nutr.* 28:333-338.
- Owens, D.J., R. Allison, and G.L. Close (2018). Vitamin D and the athlete: Current perspectives and new challenges. *Sports Med.* 48:3-16.
- Papageorgiou, M., K.J. Elliott-Sale, A. Parsons, J.C.Y. Tang, J.P. Greeves, W.D. Fraser, and C. Sale (2017). Effects of reduced energy availability on bone metabolism in women and men. *Bone.* 105:191-199.
- Peeling, P., B. Dawson, C. Goodman, G. Landers, and D. Trinder. (2008). Athletic induced iron deficiency: new insights into the role of inflammation, cytokines and hormones. *Eur. J. Appl. Physiol.* 103:381-391.
- Peeling, P., M. Sim, and A.K.A McKay. (2023). Contemporary approaches to the identification and treatment of iron deficiency in athletes. *Sports Sci. Exch.* #000.
- Rowe, P., A. Koller, and S. Sharma (2023). Physiology, bone remodeling. In: StatPearls. StatPearls Publishing.
- Shahrokhi, S.Z., F. Ghaffari, and F. Kazerouni (2016). Role of vitamin D in female reproduction. *Clin. Chim. Acta* 455:33-38.
- Shere, M., P. Bapat, C. Nickel, B. Kapur, and G. Koren (2015). Association between use of oral contraceptives and folate status: A systematic review and meta-analysis. *J. Obstet. Gynaecol. Can.* 37:430-438.
- Sim, M., L.A. Garvican-Lewis, G.R. Cox, A. Govus, A.K. McKay, T. Stellingwerff, and P. Peeling (2019). Iron considerations for the athlete: a narrative review. *Eur. J. Appl. Physiol.* 119:1463-1478.
- Smith, E.S., A.K.A. McKay, M. Kuikman, K.E. Ackerman, R. Harris, K.J. Elliott-Sale, T. Stellingwerff, and L.M. Burke (2022). Managing female athlete health: Auditing the representation of female versus male participants among research in supplements to manage diagnosed micronutrient issues. *Nutrients* 14:3372.
- Tan, J., C.-A. Ng, N.H. Hart, T. Rantalainen, M. Sim, D. Scott, K. Zhu, B. Hands, and P. Chivers (2023). Reduced peak bone mass in young adults with low motor competence. *J. Bone Min. Res.* Online ahead of print. PMID: 36795323.
- Thomas, D.T., K.A. Erdman, and L.M. Burke (2016). Position of the academy of nutrition and dietetics, dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and athletic performance. *J. Acad. Nutr. Diet.* 116:501-528.
- Weaver, C.M., W.R. Proulx, and R. Heaney (1999). Choices for achieving adequate dietary calcium with a vegetarian diet. *Am. J. Clin. Nutr.* 70:543s-548s.
- Yang, Q., J. Jian, S. Katz, S.B. Abramson, and X. Huang (2012). 17 $\beta$ -Estradiol inhibits iron hormone hepcidin through an estrogen responsive element half-site. *Endocrinology* 153:3170-3178.

## TRADUCCIÓN

Este artículo ha sido traducido y adaptado de: Alannah KA McKay, Marc Sim PhD and Peter Peeling. CONSIDERATIONS FOR THE FEMALE ATHLETE. *Sports Science Exchange*, Vol. 36, No. 238, 1-6, 2023. por el M.Sc. Pedro Reinaldo García.