

Nota de Investigación

Asociación entre la suplementación con astaxantina 3.0, la capacidad antioxidante total plasmática y el rendimiento físico en jugadores universitarios de fútbol americano: estudio exploratorio y cuasiexperimental

[Association between astaxanthin supplementation 3.0, total plasma antioxidant capacity, and physical performance in collegiate American football players: an exploratory, quasi-experimental study]

Andrea Rodríguez-Gutiérrez¹, Gabriel Lara-Hernández², Hamlet Avilés-Arnaut³, Ericka Flores-Berrios⁴, Elvia Pérez-Soto^{1*}

¹Laboratorio de Biomedicina y Salud Ocupacional (LABBSO), Escuela Nacional de Medicina y Homeopatía, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México.

²Simbio Health Sapi de CV, San José 249, Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco, México.

³Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas, Instituto de Biotecnología, Facultad de Ciencias Biológicas, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México.

⁴Investigación y Desarrollo, Biotecnología Valmex, Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco, México.

(* Autor de correspondencia: elvperzs@ipn.mx)

Resumen:

La astaxantina (AXT) es un carotenoide con alta capacidad antioxidante que podría favorecer el rendimiento físico y la recuperación en deportistas. Sin embargo, existe escasa evidencia sobre sus efectos en jugadores de fútbol americano. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la asociación entre la suplementación con AXT nanoencapsulada (SA3.0AXT), la capacidad antioxidante total (CAT) plasmática y el rendimiento físico en jugadores universitarios de fútbol americano. Se determinó la capacidad antioxidante total (CAT) del suplemento SA3.0AXT mediante el ensayo FRAP. Además, se realizó un estudio piloto, exploratorio y cuasiexperimental realizado en 23 jugadores universitarios de fútbol americano. Los participantes recibieron 10 mg/día de SA3.0AXT durante seis meses. Antes y después de la intervención se evaluaron velocidad, distancia recorrida (prueba de Cooper), consumo máximo de oxígeno (VO₂máx, Course Navette) y CAT plasmática mediante el ensayo FRAP. Los datos se analizaron mediante pruebas pareadas y correlación de Pearson, considerando significancia estadística de $p \leq 0.05$. Los resultados muestran que el suplemento SA3.0AXT presentó elevada CAT. Tras la suplementación se observaron mejoras en velocidad (+4.3 %), distancia recorrida (+20.6 %), VO₂máx (+45.8 %) y CAT plasmática (+50.2 %), con diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$). No se encontraron correlaciones significativas entre la CAT plasmática y las variables de rendimiento físico ($p > 0.05$). La suplementación con SA3.0AXT se asoció con aumentos en la CAT plasmática y en indicadores de rendimiento físico en jugadores universitarios de fútbol americano. No

obstante, debido al carácter piloto y la ausencia de grupo control, los resultados deben interpretarse como preliminares y requieren confirmación mediante un ensayo clínico aleatorizado y controlado.

Palabras clave: *astaxantina, capacidad antioxidante total, rendimiento físico, VO₂máx, fútbol americano, suplementación alimenticia.*

Abstract:

Astaxanthin (AXT) is a carotenoid with high antioxidant capacity that may enhance physical performance and recovery in athletes. However, there is limited evidence regarding its effects on American football players. This study aimed to evaluate the association between supplementation with nanoencapsulated astaxanthin (SA3.0AXT), plasma total antioxidant capacity (TAC), and physical performance in college football players. The TAC of the SA3.0AXT supplement was calculated using the FRAP assay. In addition, a pilot, exploratory, and quasi-experimental study was also conducted on 23 college American football players. Participants received 10 mg/day of SA3.0AXT for six months. Before and after the intervention, speed, distance covered (Cooper test), maximal oxygen consumption (VO₂max, Course Navette), and plasma TAC were assessed using the FRAP assay. The data were analyzed using paired tests and Pearson's correlation coefficient, with statistical significance at $p \leq 0.05$. The results show that the SA3.0AXT supplement exhibited high CAT. Following supplementation, improvements were observed in speed (+4.3 %), distance covered (+20.6 %), VO₂max (+45.8 %), and plasma CAT (+50.2 %), with statistically significant differences ($p < 0.05$). No significant correlations were found between plasma CAT and physical performance variables ($p > 0.05$). Supplementation with SA3.0AXT is associated with increases in plasma CAT and physical performance indicators in college football players. However, due to the pilot study nature and the absence of a control group, the results should be interpreted as preliminary and require confirmation through a randomized controlled clinical trial.

Keywords: *Astaxanthin, total antioxidant capacity, physical performance, VO₂max, American football, dietary supplementation.*

Información del Artículo: Recibido – 11 de mayo de 2026 // Revisión – 23 de Agosto de 2026 //

Aceptado – 28 de Agosto de 2026 // Publicado – 03 de septiembre de 2026

1. Introducción

El fútbol americano es un deporte de alta exigencia física que requiere el desarrollo simultáneo de velocidad, fuerza, potencia,

agilidad y resistencia (Elliott *et al.*, 2016). El desempeño en estas capacidades está influenciado por diversos factores fisiológicos y antropométricos, entre ellos la composición corporal y el índice de

masa corporal (IMC) (Elliott *et al.*, 2016; Mann *et al.*, 2025). Si bien una mayor masa corporal puede favorecer la producción de fuerza y el rendimiento en acciones de contacto, también puede asociarse con reducciones en la velocidad de desplazamiento, la capacidad aeróbica y la eficiencia locomotora, particularmente cuando existe un exceso de tejido adiposo (Blagrove *et al.*, 2018; Radzimiński *et al.*, 2020). En consecuencia, los jugadores con baja aptitud cardiorrespiratoria presentan un mayor riesgo de alteraciones metabólicas y enfermedades crónicas, incluida la obesidad (Blagrove *et al.*, 2018). La evaluación de la capacidad aeróbica constituye una herramienta fundamental para valorar el rendimiento físico, la recuperación al ejercicio y el estado de salud de los deportistas. Entre los indicadores más utilizados se encuentra el consumo máximo de oxígeno (VO_{2max}), considerado uno de los principales predictores de aptitud cardiorrespiratoria y rendimiento aeróbico (Burtcher *et al.*, 2023). Durante el entrenamiento intenso se incrementa de forma transitoria la producción de especies reactivas de oxígeno y nitrógeno (ERONs), fenómeno que participa en procesos adaptativos al ejercicio; sin embargo, cuando su generación excede la capacidad antioxidante endógena puede contribuir al daño muscular, la fatiga y la disminución del rendimiento deportivo (McClean y Davison, 2022). Por ello, diversas estrategias nutricionales, incluyendo el uso de suplementos antioxidantes, han sido propuestas para favorecer la recuperación y optimizar el desempeño físico de los atletas (Braakhuis y Hopkins, 2015; Waldman, 2024). Entre los antioxidantes de interés se encuentra la astaxantina (AXT), un carotenoide xantofílico producido principalmente por microorganismos como la microalga verde *Haematococcus*

pluvialis y la levadura *Xanthophyllomyces dendrorhous*. La presencia de AXT en organismos acuáticos como el salmón, krill, camarones y cangrejos se debe principalmente a su acumulación a través de la cadena alimentaria al consumir organismos que la contienen (Shah *et al.*, 2016; Waldman, 2024). Entre las fuentes biotecnológicas disponibles, *H. pluvialis* es considerada la principal fuente natural de AXT debido a su elevada capacidad de acumulación intracelular, que puede alcanzar entre 3 y 5 % del peso seco bajo condiciones de estrés ambiental (Shah *et al.*, 2016; Nishida *et al.*, 2021).

La AXT ha despertado un gran interés científico debido a sus propiedades antioxidantes, antiinflamatorias e inmunomoduladoras. Estudios recientes han asociado su consumo con beneficios potenciales sobre la salud cardiometabólica, neurológica e inmunológica, así como con una mejora en la función muscular y la resistencia al ejercicio (Brendler y Williamson, 2019; Leung *et al.*, 2022; Nieman *et al.*, 2023; Waldman, 2024; Gonzalez *et al.*, 2026). Estos efectos se atribuyen a su estructura molecular única, la cual le permite interactuar tanto con la superficie como con el interior de las membranas celulares, favoreciendo la neutralización de radicales libres y la protección frente al daño oxidativo (Wong *et al.*, 2020; Nishida *et al.*, 2021; Waldman, 2024).

En el ámbito deportivo, diversos estudios han documentado que la suplementación con AXT puede asociarse con mejoras en parámetros relacionados con el rendimiento físico y la recuperación. Entre los mecanismos propuestos se incluyen la modulación del metabolismo energético mitocondrial, la reducción del estrés oxidativo inducido por el ejercicio, la mejora del flujo sanguíneo muscular y la disminución de marcadores de daño muscular (Wong *et al.*, 2020; Marzetti *et*

al., 2024). Asimismo, se ha observado una reducción de biomarcadores de peroxidación lipídica y una recuperación más eficiente tras esfuerzos físicos intensos (Imai *et al.*, 2018; Tsao *et al.*, 2025).

Estudios recientes realizados en atletas han mostrado resultados prometedores. Nieman *et al.* (2023) reportaron que la suplementación con AXT contribuyó a contrarrestar alteraciones inducidas por el ejercicio en proteínas plasmáticas relacionadas con la función inmunológica. De manera similar, Tsao *et al.* (2025) describieron una prolongación significativa del tiempo hasta el agotamiento y una disminución de marcadores séricos de daño muscular en ciclistas suplementados con AXT. Más recientemente, Zhang *et al.* (2025) observaron mejoras en el rendimiento físico específico de atletas de taekwondo tras cuatro semanas de suplementación con este carotenoide.

A pesar de la amplia participación del fútbol americano en México, con más de 50,000 jugadores registrados por la Federación Mexicana de Fútbol Americano (FMFA, 2021), existe escasa evidencia sobre la asociación entre la suplementación con AXT y el rendimiento físico en esta población deportiva. Por lo tanto, el presente estudio tiene como objetivo evaluar la asociación entre la suplementación con SA3.0AXT, la capacidad antioxidante total plasmática (CAT) y los parámetros de rendimiento físico en jugadores universitarios de fútbol americano. De esta forma se planteó que la suplementación con SA3.0AXT se asociaría con un incremento de la CAT plasmática y con mejoras en los parámetros de rendimiento físico evaluados.

2. Materiales y métodos

2.1 Determinación de la capacidad antioxidante total (CAT) en suplemento alimenticio 3.0 astaxantina (SA3.0AXT)

La capacidad antioxidante total (CAT) del suplemento alimenticio nanoencapsulado SA3.0AXT se determinó mediante el método de capacidad reductora férrica (Ferric Reducing Antioxidant Power, FRAP), siguiendo una modificación del procedimiento descrito por Benzie y Devaki (2017). Este ensayo evalúa la capacidad reductora de compuestos antioxidantes mediante la reducción del complejo férrico Fe^{3+} -TPTZ a ferroso Fe^{2+} -TPTZ, cuya intensidad colorimétrica es proporcional al potencial antioxidante de la muestra (Benzie y Devaki, 2017). Debido a que permite cuantificar la actividad antioxidante global de matrices complejas, el método fue seleccionado para comparar la CAT de la formulación SA3.0AXT con la de astaxantina natural (AstaZine® o AXT), un antioxidante de referencia (α -tocoferol), y parte del sistema encapsulante utilizado en la formulación.

El suplemento alimenticio SA3.0AXT fue proporcionado por BioMaussan® (Ciudad de México, México) y cuenta con aval sanitario de la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS; Aviso de Funcionamiento No. 2509055019X00049). La formulación contiene AXT natural obtenida a partir de la microalga *Haematococcus pluvialis*, considerada una de las principales fuentes biotecnológicas de este carotenoide debido a su elevada capacidad de acumulación intracelular (Shah *et al.*, 2016; Nishida *et al.*, 2021). La AXT utilizada proviene de AstaZine® (BGG World, Beijing, China; AstaZine® Astaxanthin | BGG World), un extracto natural de *H. pluvialis* producido bajo condiciones controladas de cultivo y

caracterizado por contener una mezcla de astaxantina libre y esterificada. De acuerdo con las especificaciones del fabricante, la fracción carotenoide presenta una pureza de 97 % de AXT y 3 % de otros carotenoides. Asimismo, la AXT o AstaZine® ha sido objeto de evaluaciones regulatorias y de seguridad para su uso en suplementos alimenticios, incluyendo estatus GRAS (Generally Recognized as Safe, en inglés) y registros comerciales en diversos mercados internacionales, además de contar con antecedentes de uso respaldados por estudios preclínicos y clínicos reportados por el fabricante (BGG Astazine® - The healthy ten for Longevity_052226.pdf - Google Drive). El suplemento SA3.0AXT consiste en una suspensión nanoencapsulada que incorpora AXT dispersable en agua al 2 %, lo que favorece su adecuada incorporación en este tipo de formulaciones. Los demás ingredientes incluyen agua purificada, alulosa, ácido cítrico, ácido sórbico y dextrinas, conforme a la información nutrimental proporcionada por el fabricante (BioMaussan®, Ciudad de México, México).

Como estándar comparativo se empleó la misma AXT natural derivada de *H. pluvialis* (AstaZine®). El α -tocoferol (CAS No. 4345-03-3) se utilizó como antioxidante de referencia debido a su amplio uso en estudios de actividad antioxidante (Shah *et al.*, 2016), mientras que las ciclodextrinas fueron evaluadas independientemente para determinar la posible contribución del sistema encapsulante a la CAT observada. Todos los reactivos y estándares se adquirieron con grado analítico (Sigma-Aldrich®, St. Louis, MO, EE. UU.).

Para el ensayo FRAP se prepararon soluciones madre de tampón de acetato 300 mM (pH 3.6), TPTZ 10 mM en HCl 40 mM y FeCl₃ 20 mM. La solución de

trabajo se preparó inmediatamente antes de cada análisis mezclando los reactivos en una proporción 10:1:1 (v/v/v). Posteriormente, se incubó a 37 °C para favorecer la reacción de reducción del complejo Fe³⁺-TPTZ, condición que correspondió exclusivamente al procedimiento analítico y no a una evaluación de estabilidad o almacenamiento del suplemento (Benzie y Devaki, 2017).

Las muestras de SA3.0AXT, AXT natural (5 mg/mL al 2 %, dilución 1:100), α -tocoferol (1 mg/mL; dilución 1:10) y ciclodextrina (1 mg/mL; dilución 1:0) se incubaron con la solución FRAP durante 30 min en oscuridad. La absorbancia del complejo Fe²⁺-TPTZ se determinó a 593 nm utilizando un lector de microplacas EPOCH (BioTek Instruments, Inc., EE. UU.). La cuantificación se realizó mediante una curva estándar de sulfato ferroso (FeSO₄) y los resultados se expresaron como mmol equivalentes de Fe²⁺/L, ajustados por el factor de dilución correspondiente (Benzie y Devaki, 2017).

2.2 Diseño de estudio y participantes

El presente estudio correspondió a una intervención piloto de carácter exploratorio con diseño cuasiexperimental. Inicialmente, el protocolo contempló la inclusión de un grupo suplementado con SA3.0AXT y un grupo placebo; sin embargo, debido a problemas de adherencia y seguimiento, los participantes asignados al grupo placebo no completaron las evaluaciones establecidas, por lo que sus datos fueron excluidos del análisis final (datos no mostrados). En consecuencia, el estudio se llevó a cabo como una intervención de un

solo grupo con evaluaciones pre y post suplementación.

El reclutamiento se realizó mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia entre jugadores del equipo universitario de fútbol americano “Burros Blancos” del Instituto Politécnico Nacional (IPN). Previamente a su incorporación al estudio, se aplicó una historia clínica y una evaluación médica para verificar el cumplimiento de los criterios de inclusión.

Se incluyeron jugadores masculinos clínicamente sanos, de 20 a 25 años, sin enfermedades crónicas diagnosticadas, sin

lesiones incapacitantes durante el último año, sin consumo de suplementos nutricionales o medicamentos durante los tres meses previos al estudio y con una antigüedad mínima de tres años como integrantes titulares del equipo.

Fueron excluidos los participantes que no completaron el programa de entrenamiento, presentaron resultados positivos en pruebas de dopaje o abandonaron voluntariamente el estudio (WADA, 2022). Finalmente, participaron 23 jugadores que completaron todas las evaluaciones y firmaron previamente el consentimiento informado (Figura 1).

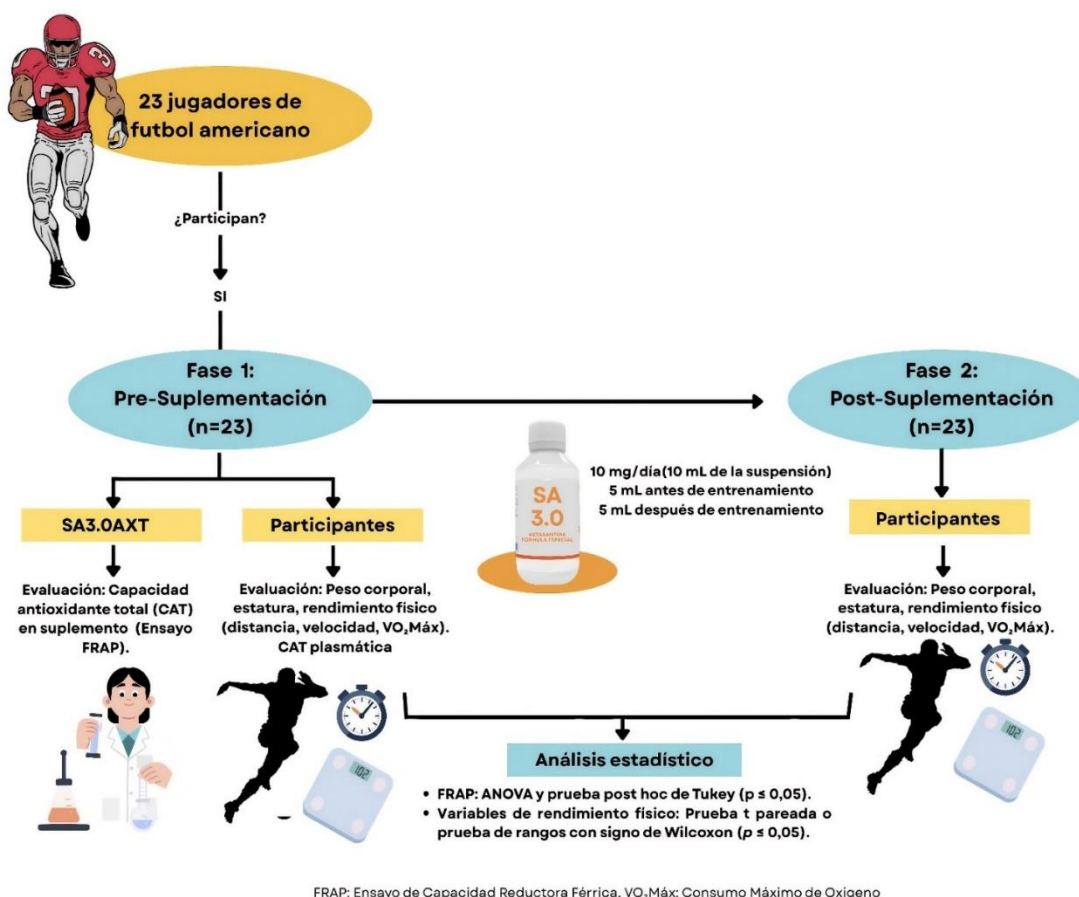


Figura 1. Diagrama de flujo de la población de estudio. Nota: Se presentan el diseño y la secuencia de evaluación de los participantes ($n = 23$) antes y después de la suplementación con SA3.0AXT, incluyendo la determinación de la capacidad antioxidante total y las variables de rendimiento físico. Figura de elaboración propia realizada en Canva® utilizando elementos gráficos de la plataforma.

2.3 Consideraciones éticas

El estudio se realizó de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-012-SSA3-2012 para la ejecución de proyectos de investigación en seres humanos y en apego a los principios éticos de la Declaración de Helsinki, normas vigentes en la actualidad. Previo al inicio de la investigación, los participantes fueron informados sobre los objetivos, procedimientos, beneficios y posibles riesgos del estudio, obteniéndose el consentimiento informado por escrito. Se garantizó la confidencialidad de los datos personales y la participación voluntaria, respetando en todo momento la autonomía de los sujetos de investigación. Además, se consideró que los beneficios potenciales de la intervención superaban los riesgos asociados a la participación.

El protocolo fue revisado y aprobado por el Comité de Bioética de la Escuela Nacional de Medicina y Homeopatía del Instituto Politécnico Nacional (CBE/010/2025; 10 de octubre de 2025).

2.4 Protocolo de suplementación con SA3.0AXT y evaluación

Los participantes recibieron un suplemento alimenticio a base de AXT (SA3.0AXT), derivada de la microalga *H. pluvialis*. La dosis diaria administrada y calculada, considerando concentración fue de 10 mg de astaxantina, distribuida en dos tomas de 5 mL de la suspensión, ingeridas antes y después del entrenamiento.

El estudio tuvo una duración total de siete meses. Durante los tres primeros meses (pretemporada), los participantes recibieron SA3.0AXT. Posteriormente, se estableció un periodo de un mes sin suplementación debido al receso

vacacional y, finalmente, la administración del suplemento se reanudó durante los tres meses correspondientes a la temporada competitiva, manteniendo el mismo esquema de dosificación.

Antes y después del periodo de suplementación se evaluaron el peso corporal, la estatura y el índice de masa corporal (IMC), la velocidad máxima alcanzada, la distancia recorrida, el consumo máximo de oxígeno ($\text{VO}_{2\text{máx}}$) y la capacidad antioxidante total (CAT) plasmática.

La resistencia aeróbica se evaluó mediante la prueba de Cooper, que consiste en recorrer la mayor distancia posible durante 12 min en una pista de 400 m, siguiendo protocolos previamente validados (Alvero-Cruz *et al.*, 2017).

La velocidad máxima y el $\text{VO}_{2\text{máx}}$ ($\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) se estimaron mediante la prueba Course-Navette o test de ida y vuelta de 20 m. Esta prueba incremental se realizó siguiendo señales auditivas pregrabadas, iniciando a una velocidad de 8.5 km/h con incrementos de 0.5 km/h por minuto hasta el agotamiento voluntario del participante. El $\text{VO}_{2\text{máx}}$ se consideró un indicador de la capacidad aeróbica y de la aptitud cardiorrespiratoria (Burtscher *et al.*, 2023).

Todas las evaluaciones físicas se realizaron antes y después de la suplementación, en el mismo lugar, horario y condiciones ambientales para todos los participantes. El orden de aplicación fue estandarizado, realizándose primero la prueba de Cooper y posteriormente la prueba Course-Navette, con un periodo de descanso de una hora entre ambas para minimizar los efectos de la fatiga.

Como biomarcador de estrés oxidativo (EO), se determinó la CAT plasmática en muestras obtenidas de los jugadores antes y después de la suplementación mediante el método FRAP, siguiendo las

condiciones experimentales previamente descritas (Benzie y Devaki, 2017). La absorbancia se determinó a 593 nm utilizando un lector de microplacas EPOCH (BioTek Instruments, Inc., EE. UU.) y los resultados se expresaron como mmol equivalentes de Fe^{2+}/L .

2.5 Análisis estadístico

Todos los experimentos de CAT mediante FRAP se realizaron por triplicado, y los resultados se analizaron mediante un ANOVA, seguido de una prueba de Tukey, utilizando el software GraphPad Prism (versión 8.0.1; GraphPad Software, San Diego, CA, EE. UU.).

Las variables cualitativas se expresaron como frecuencias y porcentajes, mientras que las cuantitativas se reportaron como media $\pm$ desviación estándar (DE). Para evaluar las diferencias entre mediciones pre y post suplementación, se aplicó la prueba *t* de Student pareada. Adicionalmente, se calculó el tamaño del efecto mediante el estadístico *d* de Cohen para estimar la magnitud de los cambios observados en muestras emparejadas. Los tamaños del efecto se interpretaron utilizando los puntos de corte convencionales de 0.20 (pequeño), 0.50 (moderado) y 0.80 (grande); sin embargo, estas categorías constituyen solo una guía general y deben contextualizarse de acuerdo con las características del estudio y la variable analizada.

Asimismo, se calcularon coeficientes de correlación de Pearson para evaluar la asociación entre la capacidad antioxidante total (FRAP) en plasma y las variables de rendimiento físico. El nivel de significancia estadística se estableció en $p \leq 0.05$. El análisis de datos se realizó con el paquete estadístico SPSS (versión 27; IBM Corp., Armonk, NY, EE. UU.).

3. Resultados

3.1 Capacidad antioxidante total (CAT) del suplemento SA3.0AXT

La CAT de la formulación SA3.0AXT, de la astaxantina natural (AXT), del α -tocoferol y de la ciclodextrina se determinó mediante el ensayo FRAP. Tanto la AXT natural, el SA3.0AXT y el α -tocoferol utilizado como antioxidante de referencia presentaron valores de CAT significativamente mayores que los observados para la ciclodextrina empleada como sistema encapsulante ($p \leq 0.05$).

La AXT natural mostró una CAT significativamente superior a la del α -tocoferol (7.57 ± 0.71 vs. 0.40 ± 0.03 mmol Fe^{2+}/L , respectivamente). Por su parte, el SA3.0AXT presentó los mayores valores de CAT, superando significativamente tanto a la AXT natural como al α -tocoferol (9.50 ± 1.17 , 7.57 ± 0.71 y 0.40 ± 0.03 mmol Fe^{2+}/L , respectivamente) (Figura 2).

Los resultados indican que la formulación nanoencapsulada del SA3.0AXT conservó una elevada CAT y presentó una actividad reductora superior a la observada para la AXT natural evaluada bajo las mismas condiciones experimentales. Asimismo, el valor bajo obtenido para la ciclodextrina sugiere que la CAT observada en SA3.0AXT no puede atribuirse al sistema encapsulante.

3.2 Descripción de la población de estudio

La muestra estuvo conformada por 23 jugadores universitarios de fútbol americano pertenecientes al equipo

“Burros Blancos” del Instituto Politécnico Nacional. Los participantes presentaron una edad promedio de 21.91 ± 1.48 años, un peso corporal de 99.40 ± 19.71 kg, una estatura de 181.40 ± 6.30 cm y un índice de masa corporal (IMC) de 30.03 ± 4.73 kg/m².

De acuerdo con la clasificación del IMC, la mayoría de los participantes se ubicó en categorías de sobrepeso u obesidad, característica frecuentemente observada en jugadores de fútbol americano debido a las exigencias físicas propias de este deporte.

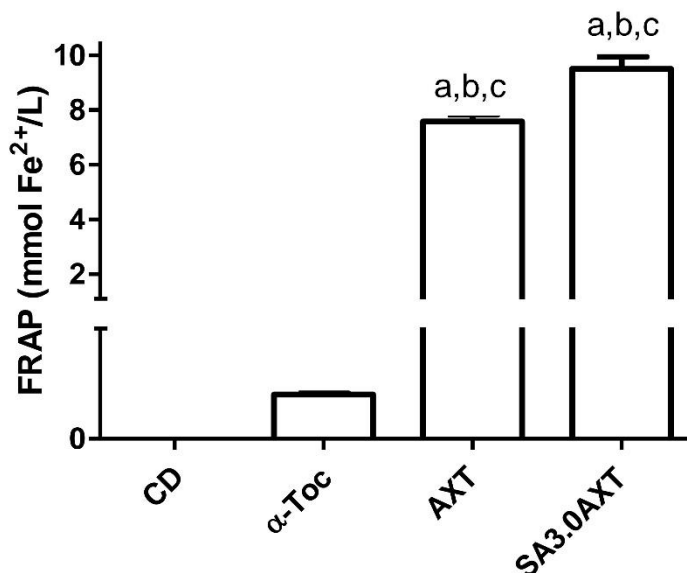


Figura 2. Capacidad antioxidante total (CAT) del suplemento SA3.0AXT y de los tratamientos evaluados, determinada mediante el ensayo FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power). Los resultados se expresan como media $\pm$ desviación estándar (DE) de tres determinaciones independientes y se reportan como mmol Fe²⁺/L.

Las diferencias estadísticas se determinaron mediante ANOVA de una vía seguido de la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Las letras indican diferencias significativas respecto al control negativo (a; CD, ciclodextrina), al control positivo (b; α -Toc, α -tocoferol) y a la astaxantina (c; AXT).

3.3 Rendimiento físico y CAT plasmática pre y post suplementación con SA3.0AXT

Después de la suplementación con SA3.0AXT se observaron incrementos significativos en todas las variables evaluadas. La velocidad aumentó de 11.16

± 0.93 a 11.64 ± 1.26 km/h, equivalente a un incremento de 4.3 % ($p = 0.002$; $d = 0.77$). La distancia recorrida aumentó de 981.90 ± 341.11 a 1183.80 ± 486.52 m, correspondiente a un incremento de 20.6 % ($p = 0.002$; $d = 0.80$). El VO₂máx aumentó de 33.42 ± 6.92 a 48.74 ± 7.41 ml/kg/min, lo que representa un incremento de 45.8 % ($p = 0.002$; $d = 4.16$). Asimismo, la CAT plasmática

aumentó de 563.35 ± 73.78 a 845.93 ± 88.90 mmol Fe^{2+}/L , equivalente a un incremento de 50.2 % ($p = 0.001$; $d = 6.89$). Ambas variables presentaron tamaños del efecto muy grandes, superiores al punto de corte convencional para un efecto grande ($d = 0.80$). En todos los casos, los intervalos de confianza de la diferencia pre-post no incluyeron el valor cero (Tabla 1). Sin embargo, los cambios observados en la CAT plasmática no se asociaron con las

modificaciones en los parámetros de rendimiento físico, ya que no se encontraron correlaciones significativas entre CAT plasmática y $\text{VO}_{2\text{máx}}$, distancia recorrida o velocidad (Pearson, $p > 0.05$). En conjunto, estos resultados sugieren que la suplementación con SA3.0AXT favoreció tanto el estado antioxidante como el rendimiento físico, aunque ambos efectos parecen ocurrir de manera independiente.

Tabla 1. Cambios en el rendimiento físico y la capacidad antioxidante total (CAT) plasmática antes y después de la suplementación con SA3.0AXT

Variable	Pre-SA3.0AXT (media $\pm$ DE)	Post-SA3.0AXT (media $\pm$ DE)	Cambio relativo	Diferencia de medias (Pre-Post)	IC 95 % de la diferencia	Valor de p	d de Cohen
Velocidad (km/h)	11.16 $\pm$ 0.93	11.64 $\pm$ 1.26	+4.3 %	-0.48	-0.76 a -0.19	0.002	0.77
Distancia (m)	981.9 $\pm$ 341.11	1183.8 $\pm$ 486.52	+20.6 %	-201.9	-313.63 a -86.37	0.002	0.80
$\text{VO}_{2\text{máx}}$ (ml/kg/min)	33.42 $\pm$ 6.92	48.74 $\pm$ 7.41	+45.8 %	-15.31	-16.99 a -13.64	0.002	4.16
CAT plasmática (mmoles Fe^{2+}/L)	563.35 $\pm$ 73.78	845.93 $\pm$ 88.9	+50.2 %	-282.59	-314.08 a -251.09	0.001	6.89

Nota: Los valores negativos de la diferencia representan incrementos en la evaluación post-suplementación. Se utilizó la prueba t de Student para muestras emparejadas. Se consideró significancia estadística en $p \leq 0.05$. El cambio porcentual se calculó como $\times 100$.

4. Discusión

La caracterización antioxidante del suplemento SA3.0AXT mediante FRAP mostró una CAT superior a la del α -

tocoferol (9.50 ± 1.17 vs. 0.40 ± 0.03), en concordancia con lo descrito por Shah *et al.* (2016), quienes señalaron una mayor actividad antioxidante de la AXT respecto a la vitamina E. Esta acción puede relacionarse con la estructura molecular de

la AXT, que le permite interactuar con regiones hidrofílicas e hidrofóbicas de la membrana y neutralizar especies reactivas a oxígeno y nitrógeno (ERON's), lo que contribuye a disminuir el EO (Brendler y Williamson, 2019). De igual manera, la literatura científica disponible respalda la seguridad de la AXT para el consumo humano, incluida la producida por BGG, mostrando un perfil favorable de tolerabilidad y ausencia de efectos adversos importantes (Brendler y Williamson, 2019).

A partir de esta caracterización funcional del suplemento SA3.0AXT, y una vez verificado su cumplimiento de los requisitos regulatorios aplicables a los suplementos alimenticios en México, se procedió a evaluar sus efectos en una población de jugadores de fútbol americano. En este estudio piloto, exploratorio y cuasiexperimental, la suplementación con 10 mg/día de SA3.0AXT, dosis sustentada en la evidencia disponible en deportistas (Brendler y Williamson, 2019; Gonzalez *et al.*, 2026), produjo cambios significativos en la CAT plasmática y en variables asociadas al rendimiento físico. La CAT plasmática aumentó 50.2 %, de 563.35 ± 73.78 a 845.93 ± 88.90 mmol Fe^{2+}/L ($p = 0.001$; $d = 6.89$) durante la suplementación y entrenamiento. Este cambio es compatible con una mejoría del estado antioxidante sistémico. La AXT puede modular el estado redox mediante la neutralización de ERON's y la protección de las membranas lipídicas; además, se ha documentado un incremento de glutatión después de su suplementación (Brendler y Williamson, 2019; McAllister *et al.*, 2022; Gonzalez *et al.*, 2026). No obstante, la CAT del suplemento SA3.0AXT medida mediante FRAP y la CAT plasmática representan parámetros diferentes. Esta última refleja el estado global del organismo, por lo que no permite

reconocer la contribución específica de los componentes antioxidantes enzimáticos o no enzimáticos a los cambios observados. Cabe destacar que la CAT plasmática presentó el mayor tamaño del efecto entre todas las variables evaluadas ($d = 6.89$), lo que sugiere una respuesta altamente consistente entre los participantes y una marcada mejoría de la capacidad antioxidante sistémica. Este hallazgo podría ser relevante desde una perspectiva funcional, ya que un mejor equilibrio redox puede favorecer las adaptaciones fisiológicas inducidas por el entrenamiento y contribuir al mantenimiento del rendimiento físico.

En concordancia con lo anterior, la suplementación se asoció con aumentos significativos en la velocidad máxima (+4.3 %), la distancia recorrida (+20.6 %) y el $\text{VO}_2\text{máx}$ (+45.8 %), lo que podría reflejar una mejora de la capacidad funcional y aeróbica durante el periodo de entrenamiento. El incremento observado en el $\text{VO}_2\text{máx}$, indicador de capacidad aeróbica (Burtscher *et al.*, 2023), estuvo acompañado de un tamaño del efecto muy grande ($d = 4.16$), superior al criterio convencional de efecto grande ($d = 0.80$) propuesto por Cohen. Estos valores sugieren que los cambios observados fueron importantes en relación con la variabilidad de las diferencias individuales, indicando una respuesta relativamente homogénea entre los participantes. Hallazgos de magnitud considerable también han sido documentados por Tsao *et al.* (2025), quienes reportaron tamaños del efecto muy grandes sobre el tiempo hasta el agotamiento durante una prueba de ciclismo ($d = 3.47$) tras la suplementación con AXT.

Aunque el fútbol americano se caracteriza principalmente por acciones explosivas, aceleraciones, cambios de dirección y colisiones repetidas, su naturaleza

intermitente requiere la participación integrada de los sistemas fosfagénico, glucolítico y aeróbico, especialmente durante secuencias repetidas de juego con periodos cortos de recuperación (Fullagar *et al.*, 2017). En este contexto, los incrementos observados en el VO₂máx, la distancia recorrida y la velocidad máxima podrían indicar una mejor capacidad para sostener esfuerzos repetidos durante la pretemporada. Estos resultados coinciden parcialmente con estudios que han reportado efectos favorables de la AXT sobre el EO, la recuperación muscular y algunas variables de desempeño físico (Baralic *et al.*, 2013, 2015; Gonzalez *et al.*, 2024, 2026). De manera particular, Gonzalez *et al.* (2024) observaron un incremento de 8.8 % en el umbral anaeróbico ventilatorio tras cuatro semanas de suplementación con 12 mg/día de AXT. Sin embargo, la evidencia continúa siendo heterogénea, ya que otros estudios no han encontrado mejoras consistentes en el rendimiento de resistencia (Brown *et al.*, 2021), lo que sugiere que la respuesta a la AXT puede depender de factores como la

dosis, la duración de la suplementación, las características de la población y el tipo de prueba utilizada (Tabla 2). No obstante, estos resultados deben interpretarse con cautela. Si bien los elevados tamaños del efecto observados para la CAT plasmática ($d = 6.89$) y el VO₂máx ($d = 4.16$) sugieren una respuesta biológicamente relevante asociada con la suplementación y el entrenamiento, el carácter piloto, exploratorio y cuasiexperimental del estudio, junto con la ausencia de un grupo control, impide establecer relaciones causales definitivas. Factores relacionados con el entrenamiento de pretemporada, el efecto de aprendizaje de la prueba u otros cambios concurrentes también pudieron contribuir a los resultados observados. Por ello, se requiere un ensayo clínico aleatorizado, doble ciego y controlado con placebo que permita corroborar la reproducibilidad de estos hallazgos y aportar evidencia más robusta sobre el efecto de la AXT en la capacidad antioxidante sistémica y el rendimiento aeróbico.

Tabla 2. Evidencia disponible sobre los efectos de la astaxantina (AXT) en el rendimiento físico, la recuperación y la respuesta antioxidante al ejercicio en deportistas.

Referencia / País	Tipo de estudio	Población / deporte	Dosis de AXT	Duración	Variables evaluadas	Principales hallazgos	Implicaciones sobre dosis	Estudios incluidos (solo revisiones)
Brown <i>et al.</i> , (2021) / Reino Unido	Ensayo aleatorizado, doble ciego, cruzado	12 ciclistas recreativamente entrenados	12 mg/día	7 días	Contrarreloj de 40 km, metabolismo energético y oxidación de grasas	Reducción aproximada del 1.2 % en el tiempo de la contrarreloj y aumento de la	12 mg/día durante una semana mostró efectos ergogénicos y metabólicos favorables.	NA

Tsao <i>et al.</i> , (2025) / Taiwán	Ensayo aleatorizado, cruzado, simple ciego	10 ciclistas	28 mg/día	4 días	VO ₂ máx, tiempo al agotamiento, CAT, CK, LDH y peroxidación lipídica	oxidación de grasas durante el ejercicio. Incremento significativo del tiempo hasta el agotamiento, junto con menor daño muscular y EO.	Una dosis alta a corto plazo (28 mg/día) mostró beneficios agudos sobre la resistencia y recuperación.	NA
Nieman <i>et al.</i> , (2023) / EE. UU.	Ensayo aleatorizado, doble ciego, cruzado	18 atletas de resistencia	8 mg/día	4 semanas	Rendimiento durante carrera, citocinas, proteínas inmunitarias y dolor muscular	No se observaron mejoras en rendimiento, pero sí una menor disminución de proteínas inmunitarias como IgM tras el ejercicio.	8 mg/día podría favorecer la función inmunitaria más que el rendimiento físico.	NA
Zhang <i>et al.</i> , (2025) / China	Ensayo aleatorizado, doble ciego, controlado con placebo	42 atletas masculinos de taekwondo	12 mg/día	4 semanas	Pruebas específicas de taekwondo y capacidad anaeróbica	Mejoras significativas en pruebas de patadas y capacidad de esfuerzo intermitente.	12 mg/día durante 4 semanas podría beneficiar el rendimiento específico en deportes intermitentes.	NA
Gonzalez <i>et al.</i> , (2026) / EE. UU., Canadá	Revisión integral de la literatura	Deportistas y población físicamente activa de distintos estudios	4-12 mg/día (principalmente)	4-12 semanas	Rendimiento, recuperación, oxidación de grasas, daño muscular y EO.	Evidencia moderada para rendimiento y débil a moderada para efectos antioxidantes. Se reportan mejoras en	Los efectos parecen depender de la dosis, duración, estado de entrenamiento y modalidad de ejercicio. El rango más prometedor	Estudios humanos sobre rendimiento, recuperación, metabolismo energético y EO.

						oxidación de grasas, recuperación y disminución del daño muscular.	fue de 4-12 mg/día.	
Waldman, (2024) / EE. UU.	Revisión narrativa de la literatura	Atletas y sujetos físicamente activos de estudios humanos	4-20 mg/día	7 días a 6 meses	Rendimiento de resistencia, metabolismo de sustratos, recuperación, variables cardiorrespiratorias y antioxidantes	Evidencia mixta para rendimiento aeróbico. Dos estudios mostraron mejoras y uno no encontró efectos. Se describen beneficios potenciales sobre metabolismo energético y recuperación.	El autor propone 4-12 mg/día como el intervalo con mayor potencial ergogénico, aunque la evidencia aún es insuficiente para establecer recomendaciones definitivas.	Incluye estudios como Earnest <i>et al.</i> , (2011), Res <i>et al.</i> , (2013) y Brown <i>et al.</i> , (2021).

5. Conclusiones

El suplemento alimenticio SA3.0AXT mostró elevada capacidad antioxidante in vitro. Su suplementación se asoció con un incremento de la CAT plasmática y con mejoras en variables de rendimiento físico, especialmente en la CAT plasmática y el

VO₂máx, que presentaron los mayores cambios y tamaños del efecto. Aunque estos resultados sugieren efectos favorables sobre el estado antioxidante sistémico y la capacidad aeróbica, deben interpretarse con cautela debido al carácter piloto, exploratorio y cuasiexperimental del estudio. En consecuencia, se requiere un ensayo clínico para confirmar estos hallazgos y establecer una posible relación causal.

6. Agradecimientos

La presente investigación fue financiada parcialmente por la empresa BioMaussan. Los patrocinadores no participaron en el diseño del estudio, la recopilación y el análisis de los datos, la interpretación de los resultados, la redacción del manuscrito ni en la decisión de someterlo para su publicación. La empresa no influyó de ninguna manera en los resultados ni en las conclusiones de esta investigación.

Open Access: This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0) which permits any use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author(s) and the source are credited.

7. Referencias

- Alvero-Cruz, J.R., Giráldez García, M.A., Carnero, E.A. 2017. Reliability and accuracy of Cooper's test in male long distance runners. *Rev. Andal. Med. Deporte.* 10(2):60–63. <https://doi.org/10.1016/j.ramd.2016.03.001>
- Baralic, I., Djordjevic, B., Dikic, N., Kotur-Stevuljevic, J., Spasic, S., Jelic-Ivanovic, Z., Radivojevic, N., Andjelkovic, M., Pejic, S. 2013. Effect of Astaxanthin Supplementation on Paraoxonase 1 Activities and Oxidative Stress Status in Young Soccer Players. *Phytother. Res.* 27(10):1536–1542. <https://doi.org/10.1002/ptr.4898>
- Baralic, I., Andjelkovic, M., Djordjevic, B., Dikic, N., Radivojevic, N., Suzin-Zivkovic, V., Radojevic-Skodric, S., Pejic, S. 2015. Effect of Astaxanthin Supplementation on Salivary IgA, Oxidative Stress, and Inflammation in Young Soccer Players. *Evid. Based Complement. Alternat. Med.* 2015:1–9. <https://doi.org/10.1155/2015/783761>
- Benzie, I.F.F., Devaki, M. 2017. The ferric reducing/antioxidant power (FRAP) assay for non-enzymatic antioxidant capacity: concepts, procedures, limitations and applications. In: Apak R, Capanoglu E, Shahidi F, editors. *Measurement of Antioxidant Activity & Capacity*. John Wiley & Sons, Ltd. pp.77–106. <https://doi.org/10.1002/9781119135388.ch5>
- Blagrove, R.C., Howatson, G., Hayes, P.R. 2018. Effects of Strength Training on the Physiological Determinants of Middle- and Long-Distance Running Performance: A Systematic Review. *Sports Med.* 48(5):1117–1149. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0835-7>
- Braakhuis, A.J., Hopkins, W.G. 2015. Impact of Dietary Antioxidants on Sport Performance: A Review. *Sports Med.* 45(7):939–955. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0323-x>
- Brendler, T., Williamson, E.M. 2019. Astaxanthin: How much is too much? A safety review. *Phytother. Res.* 33(12):3090–3111. <https://doi.org/10.1002/ptr.6514>
- Brown, D.R., Warner, A.R., Deb, S.K., Gough, L.A., Sparks, S.A., McNaughton, L.R. 2021. The effect of astaxanthin

- supplementation on performance and fat oxidation during a 40 km cycling time trial. *J. Sci. Med. Sport.* 24(1):92–97. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2020.06.017>
- Burtscher, J., Millet, G.P., Burtscher, M. 2023. Celebrating 100 years of VO₂max. *QJM.* 116(9):809–809. <https://doi.org/10.1093/qjmed/hca d082>
- Elliott, K.R., Harmatz, J.S., Zhao, Y., Greenblatt, D.J. 2016. Body Size Changes Among National Collegiate Athletic Association New England Division III Football Players, 1956–2014: Comparison With Age-Matched Population Controls. *J. Athl. Train.* 51(5):373–381. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-51.5.14>
- Federación Mexicana de Fútbol Americano (FMFA). 2021. Historia del fútbol americano en México. Disponible en: [Historia del Fútbol Americano en México - FMFA](https://www.fmfamex.com/historia-del-futbol-americano-en-mexico-fmfa)
- Fullagar, H.H.K., McCunn, R., Murray, A. 2017. Updated Review of the Applied Physiology of American College Football: Physical Demands, Strength and Conditioning, Nutrition, and Injury Characteristics of America's Favorite Game. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 12(10):1396–1403. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2016-0783>
- Gonzalez, D.E., Dickerson, B.L., Johnson, S.E., Woodruff, K.E., Leonard, M., Yoo, C., Ko, J., Xing, D., Martinez, V., Kendra, J., Estes, L., Sowinski, R.J., Rasmussen, C.J., Martin, S.E., Kreider, R.B. 2024. Impact of astaxanthin supplementation on markers of cardiometabolic health and tactical performance among firefighters. *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 21(1):2427751. <https://doi.org/10.1080/15502783.2024.2427751>
- Gonzalez, D.E., Dickerson, B.L., Roberts, B.M., Kurtz, J.A., Waldman, H.S., Gonzalez, A.M., McAllister, M.J., Heilesen, J.L., Bloomer, R.J., Arent, S.M., Candow, D.G., Stout, J.R., Hecht, K.A., Campbell, B., Kerksick, C.M., Kalman, D., Antonio, J., Kreider, R.B. 2026. International Society of Sports Nutrition position stand: effects of dietary antioxidants on exercise and sports performance. *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 23(1):2629828. <https://doi.org/10.1080/15502783.2026.2629828>
- Imai, A., Oda, Y., Ito, N., Seki, S., Nakagawa, K., Miyazawa, T., Ueda, F. 2018. Effects of Dietary Supplementation of Astaxanthin and Sesamin on Daily Fatigue: A Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled, Two-Way Crossover Study. *Nutrients.* 10(3):281. <https://doi.org/10.3390/nu10030281>
- Leung, L.Y-L., Chan, S.M-N., Tam, H-L., Wong, E.S-W. 2022. Astaxanthin Influence on Health Outcomes of Adults at Risk of Metabolic Syndrome: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Nutrients.* 14(10):2050. <https://doi.org/10.3390/nu14102050>

- Mann, J.B., Cowley, N., Weakley, J. 2025. The Role of Speed, Change of Direction, and Momentum by Position and Starting Status in Division 1 Collegiate Football Players. *J. Strength. Cond. Res.* 39(1):41–47.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004944>
- Marzetti, E., Lozano-Ochsner, B., Calvani, R., Landi, F., Coelho-Júnior, H.J., Picca, A. 2024. Restoring Mitochondrial Function and Muscle Satellite Cell Signaling: Remedies against Age-Related Sarcopenia. *Biomolecules.* 14(4):415.
<https://doi.org/10.3390/biom14040415>
- McAllister, M.J., Mettler, J.A., Patek, K., Butawan, M., Bloomer, R.J. 2022. Astaxanthin Supplementation Increases Glutathione Concentrations but Does Not Impact Fat Oxidation During Exercise in Active Young Men. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 32(1):8–15.
<https://doi.org/10.1123/ijsnem.2021-0138>
- McClean, C., Davison, G.W. 2022. Circadian Clocks, Redox Homeostasis, and Exercise: Time to Connect the Dots? *Antioxidants.* 11(2):256.
<https://doi.org/10.3390/antiox11020256>
- Nieman, D.C., Woo, J., Sakaguchi, C.A., Omar, A.M., Tang, Y., Davis, K., Pecorelli, A., Valacchi, G., Zhang, Q. 2023. Astaxanthin supplementation counters exercise-induced decreases in immune-related plasma proteins. *Front. Nutr.* 10:1143385.
<https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1143385>
- Nishida, Y., Nawaz, A., Hecht, K., Tobe, K. 2021. Astaxanthin as a Novel Mitochondrial Regulator: A New Aspect of Carotenoids, beyond Antioxidants. *Nutrients.* 14(1):107.
<https://doi.org/10.3390/nu14010107>
- Radzimiński, Ł., Szwarc, A., Padrón-Cabo, A., Jastrzębski, Z. 2020. Correlations between body composition, aerobic capacity, speed and distance covered among professional soccer players during official matches. *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 60(2).
<https://doi.org/10.23736/S0022-4707.19.09979-1>
- Shah, Md.M.R., Liang, Y., Cheng, J.J., Daroch, M. 2016. Astaxanthin-Producing Green Microalga *Haematococcus pluvialis*: From Single Cell to High Value Commercial Products. *Front. Plant. Sci.* 7:531.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00531>
- Tsao, J.P., Wu, P.Y., Kuo, H.T., Hong, W.H., Chen, C.C., Wang, M.Y., Korivi, M., Cheng, I.S. 2025. Effect of astaxanthin supplementation on cycling performance, muscle damage biomarkers and oxidative stress in young adults: a randomized controlled trial. *BMC Sports Sci. Med. Rehabil.* 17(1):180.
<https://doi.org/10.1186/s13102-025-01221-3>
- Waldman, H. 2024. Astaxanthin Supplementation as a Potential Strategy for Enhancing

- Mitochondrial Adaptations in the Endurance Athlete: An Invited Review. *Nutrients*. 16(11):1750. <https://doi.org/10.3390/nu16111750>
- Wong, S.K., Ima-Nirwana, S., Chin, K. 2020. Effects of astaxanthin on the protection of muscle health (Review). *Exp. Ther. Med.* 20(4): 2941-2952. <https://doi.org/10.3892/etm.2020.9075>
- World Anti-Doping Agency. 2022. The 2022 prohibited list: World Anti-Doping Code. WADA.
- Zhang, X.C., Shu, M.Y., Li, K.M., Wang, N., Wang, X.Y., Shao, L., Yang, Y., Liu, W., Zhu, S., Zuo, L., Li, G.Q., Chen, X.H., Liang, J., Kim, C.H. 2025. Effects of 4-week astaxanthin supplementation on athletic performance and body composition in young male taekwondo athletes: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *Front. Nutr.* 12:1731899. <https://doi.org/10.3389/fnut.2025.1731899>