

UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA

CARRERA DE NUTRICIÓN

*Revisión sistemática para optar por el grado
académico de Licenciatura en Nutrición*

**EFECTO DEL CONSUMO DE ÓXIDO NÍTRICO
DERIVADO DEL JUGO DE REMOLACHA SOBRE
LA RESISTENCIA A LA FATIGA Y SU
MECANISMO DE ACCIÓN EN DEPORTES DE
ALTA INTENSIDAD: UNA REVISIÓN
SISTEMÁTICA, COSTA RICA, 2023**

DANIELA GONZÁLEZ MONTOYA

Septiembre, 2023.

CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS	9
DEDICATORIA	10
AGRADECIMIENTOS.....	11
RESUMEN.....	12
ABSTRACT	13
CAPÍTULO I.....	14
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	14
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.1.1 Antecedentes internacionales.....	15
1.1.2 Antecedentes nacionales	17
1.1.3 Delimitación del problema	18
1.1.4 Justificación.....	19
1.2 REDACCIÓN DEL PROBLEMA CENTRAL DE LA PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	22
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	22
1.3.1 Objetivo general	22
1.3.2 Objetivos específicos.....	22
1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES.....	23

	3
1.4.1 Alcances.....	23
1.4.2 Limitaciones	23
CAPÍTULO II.....	24
MARCO TEÓRICO	24
2.1 CONTEXTO TEÓRICO – CONCEPTUAL	25
2.1.1 Características sociodemográfica	25
2.1.1.1 Edad.....	27
2.1.1.2 Género	28
2.1.1.3 Deportes de alta intensidad.....	29
2.1.1.4 Ubicación geográfica.....	32
2.1.2 Protocolo de intervención.....	33
2.1.2.1 Uso crónico o agudo de óxido nítrico.....	33
2.1.2.2 Suplementación con NO sintético	34
2.1.2.3 Suplementación con jugo de remolacha	35
2.1.2.4 Cantidad utilizada.....	37
2.1.2.5 Tiempo pre-ingesta	38
2.1.2.6 Variables que influyen sobre el efecto del NO	38
2.1.2.6.1 Control de lavado de dientes	39
2.1.2.6.2 Control de enjuague bucal	39
2.1.3 Mecanismo de acción del óxido nítrico.....	40

2.1.3.1 Óxido nítrico.....	41
2.1.3.2 Velocidad de oxidación del NO	42
2.1.3.2.1 NOS Inducible	42
2.1.3.2.2 NOS Endotelial.....	43
2.1.3.2.3 NOS Neuronal	45
2.1.3.3 Umbral de activación.....	46
2.1.3.4 Síntesis de ATP	46
2.1.3.5 Aparición de la fatiga.....	47
2.1.3.6 Glucógeno muscular y PH.....	47
2.1.4 Efectos ergogénicos.....	48
2.1.4.1 Jugo de remolacha	48
2.1.4.2 Beneficios	49
2.1.4.2.1 Biodisponibilidad en el organismo	49
2.1.4.2.2 Disminuye el estrés oxidativo.....	50
2.1.4.2.3 Disminuye la inflamación.....	51
2.1.4.2.4 Mejora la función endotelial.....	51
2.1.4.2.5 Mejora la función cognitiva.....	52
2.1.4.2.6 Tratamiento para enfermedades crónicas no transmisibles	52
2.1.4.3 Potencia	53
2.1.4.4 Duración en los sprints	54

2.1.4.5 Rendimiento en HIITS	54
2.1.4.6 Valores del perfil sanguíneo y respiratorio	¡Error! Marcador no definido.
2.1.4.6.1 Niveles de lactato (mmol · L ⁻¹)	55
2.1.4.6.3 Eficiencia ventilatoria.....	56
CAPÍTULO III	57
MARCO METODOLÓGICO	57
3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	58
3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN	58
3.3 UNIDADES DE ANÁLISIS U OBJETOS DE ESTUDIO	59
3.3.1 Área de estudio	59
3.3.2 Fuentes de información	59
3.3.3 Población	60
3.3.4 Muestra	60
3.3.5 Criterios de inclusión y exclusión	62
3.4 INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN	66
3.5 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	67
3.5.1 Palabras clave	68
3.7 PLAN PILOTO.....	72
3.8 REVISIÓN SISTEMÁTICA	73
3.8.1 Estrategia de búsqueda	74

3.8.2 Proceso de selección.....	82
3.8.3 Proceso de extracción de datos.....	84
3.8.4 Lista de los datos.....	84
3.8.5 Evaluación del riesgo de sesgo.....	86
3.8.6 Métodos de síntesis.....	86
CAPÍTULO IV.....	89
PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	89
4.1 RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	90
4.1.1 Características principales de los artículos científicos.....	90
4.1.2 Artículos científicos incluidos en la investigación.....	92
4.1.3 Resultados principales.....	100
CAPÍTULO V.....	104
DISCUSIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	104
5.1 DISCUSIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	105
5.1.1 Características sociodemográficas.....	105
5.1.2 Protocolo de intervención.....	107
5.1.3 Mecanismo de acción.....	110
5.1.4 Efectos ergogénicos.....	112
CAPÍTULO IV.....	117
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	117

6.1 CONCLUSIONES.....	118
6.2 RECOMENDACIONES	120
BIBLIOGRAFÍA.....	121
BIBLIOGRAFÍA TEÓRICA.....	121
BIBLIOGRAFÍA REVISIÓN	152
GLOSARIO.....	154
ANEXOS.....	157
ANEXO 1. RESUMEN DE LOS DATOS FILTRADOS.....	158
ANEXO 2. PRIMER FILTRADO.....	159
ANEXO 3. SEGUNDO FILTRADO.....	160
ANEXO 4. EXTRACCIÓN DE DATOS.....	161
ANEXO 5. DECLARACIÓN JURADA.....	¡Error! Marcador no definido.
ANEXO 6. CARTAS DE APROBACIÓN.....	162

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de los vegetales según la cantidad de nitratos.	36
Tabla 2. Representación del modelo PICO.....	62
Tabla 3. Criterios de inclusión y exclusión.....	63
Tabla 4. Palabras claves utilizadas para segmentar la información.....	68
Tabla 5. Operacionalización de las variables.....	69
Tabla 6. Cuestionario del segundo filtrado manual por título y abstract; Error! Marcador no definido.	
Tabla 7. Cuestionario del tercer filtrado manual por texto completo; Error! Marcador no definido.	
Tabla 8. Estrategia de búsqueda en la base de datos de PubMed	75
Tabla 9. Estrategia de búsqueda en la base de datos de ScienceDirect	76
Tabla 10. Estrategia de búsqueda en la base de datos de MDPI.....	77
Tabla 11. Estrategia de búsqueda en la base del buscador Google Scholar.....	78
Tabla 12. Resultados por palabras claves del primer filtrado en las bases de datos utilizadas .	82
Tabla 13. Artículos según las palabras clave en las bases de datos con las citas bibliográficas seleccionadas	83
Tabla 14. Estudios incluidos.....	91
Tabla 15. Características sociodemográficas.....	93
Tabla 16. Protocolo de intervención	95
Tabla 17. Mecanismo de acción	97
Tabla 18. Efectos ergogénicos	99
Tabla 19. Comparación de los resultados principales según las variables respectivas.....	102

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1. Diagrama de flujo PRISMA para la recolección de los datos incluidos61

Ilustración 2. Resultados del procedimiento de filtrado en la búsqueda de los artículos científicos

.....**¡Error! Marcador no definido.**

DEDICATORIA

Llena de felicidad dedico esta tesis a quienes han sido un motor para seguir adelante durante este camino y poder ver este sueño hecho realidad.

A mi madre que con su cariño y sus palabras de aliento que me motivaron a lo largo de este camino.

A mi padre por darme su ejemplo de perseverancia y constancia que me han inspirado para salir adelante.

A mi hermano y mejor amigo, por darme su confianza y ser ejemplo para mí.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco a Dios quién con su amor y bondad sin fin, me ha guiado y me ha dado la fortaleza suficiente para culminar con éxito esta etapa de mi vida.

A mis padres quienes con su apoyo y amor incondicional me han impulsado siempre a perseguir mis metas y nunca abandonarlas frente a las adversidades.

A mi hermano quien con sus consejos y ánimos han sido parte de mi motivación para nunca rendirme.

A mi cuñada que ha estado para mí siempre, me motiva y me inspira a dar mi mejor versión a pesar de las circunstancias.

A mis docentes que han sido parte de mi camino universitario, y a todos ellos les quiero agradecer por transmitirme los conocimientos necesarios para hoy poder estar aquí.

Y a todas las personas de una y otra forma me apoyaron a lo largo de este camino. Gracias por ser parte de mi vida.

RESUMEN

Introducción: El jugo de remolacha es utilizado como suplemento natural por su contenido de óxido nítrico, el cual es considerado un potenciador del rendimiento físico y se estudia su efecto ergogénico como vasodilatador en los deportes de alta intensidad o entrenamientos HIIT (High Interval Intensity Training). **Objetivo general:** Investigar el efecto del consumo de óxido nítrico derivado del jugo de remolacha sobre la resistencia a la fatiga y su mecanismo de acción en deportes de alta intensidad. **Metodología:** Se elabora la presente revisión sistemática con un enfoque de tipo cualitativo y se incluyen 5 artículos científicos que cumplen con los criterios de inclusión – exclusión. Los estudios están comprendidos entre el periodo del 2018 al 2023, utilizando el sistema de PRISMA para cumplir con los estándares solicitados. La información se recolecta mediante bases de datos como PubMed, ScienceDirect y MDPI en los idiomas inglés y español, además de la utilización de Google Scholar como buscador de los diferentes artículos. **Resultados y discusión:** Los resultados obtenidos en 60 hombres y 5 mujeres que practican deportes recreativos y de resistencia indican que con una dosis de 70 ml – 140 ml pre-ingesta se observan mejoras en los valores de VO₂, UA y S. ATP de acuerdo con artículos científicos que se incluyen en la investigación. Se utiliza la dosis mayor en 2 estudios y en los otros la mínima. Muestran un rango diferencial notorio y se observan mejoras en los resultados de las pruebas físicas tras el consumo de la dosis. **Conclusiones:** Se concluye según los resultados observados en los estudios que el consumo de NO del jugo de remolacha incrementa el rendimiento físico de los individuos que practican deportes de alta intensidad mediante el aumento del flujo sanguíneo y la producción de energía para potenciar las habilidades físicas en los deportes de alta intensidad. **Palabras clave:** óxido nítrico, ejercicio, rendimiento físico, atletas, suplementación natural de NO, NO sintético.

ABSTRACT

Introduction: Beetroot juice is used as a natural supplement due to its nitric oxide content, which is considered a physical performance enhancer and its ergogenic effect as a vasodilator is studied in high intensity sports or HIIT training (High Interval Intensity Training). **General objective:** To investigate the effect of consumption of nitric oxide derived from beetroot juice on resistance to fatigue and its mechanism of action in high-intensity sports. **Methodology:** This systematic review is prepared with a qualitative approach and 5 scientific articles that meet the inclusion-exclusion criteria are included. The studies are between the period from 2018 to 2023, using the PRISMA system to comply with the standards requested. The information is collected through databases such as PubMed, ScienceDirect and MDPI in English and Spanish, in addition to the use of Google Scholar as a search engine for the different articles. **Results and discussion:** The results obtained in 60 men and 5 women who practice recreational and endurance sports indicate that with a dose of 70 ml - 140 ml, 2 - 3 hours before ingestion, improvements are observed in the values of VO₂, UA and S. ATP according to the studies by Wylie (2019), Cuenca (2018), Serra (2021), Tan (2022) and Ranchal (2020). **Conclusions:** It is concluded according to the results observed in the studies that the consumption of NO from beet juice increases the physical performance of individuals who practice high-intensity sports by increasing blood flow and energy production to enhance physical abilities in different sports. **Keywords:** nitric oxide, exercise, physical performance, athletes, natural NO supplementation, synthetic NO.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los antecedentes nacionales e internacionales se muestran para obtener una perspectiva más profunda y amplia sobre el tema seleccionado. Posteriormente se presenta la delimitación, justificación del problema, objetivos, alcance y las limitaciones de la revisión sistemática.

1.1.1 Antecedentes internacionales

El jugo de remolacha se considera un suplemento natural, esto se respalda con la cantidad de experimentos que estudian los beneficios que brinda como la disminución a la fatiga, lo cual permite que los entrenamientos de alta intensidad mantengan un nivel de calidad sostenido a lo largo del tiempo (Kar, 2019). Respecto a una serie de revisiones, se muestran a continuación los principales hallazgos identificados.

En el estudio elaborado por Oliveira (2018) se menciona que tras el consumo de una dosis de 70 ml de jugo de remolacha concentrado una hora pre-ingesta, mejora la resistencia a la fatiga en 16 atletas que practican jiu-jitsu, ya que, se observa una prolongación del 10% en el tiempo de duración del entrenamiento en comparación con el grupo placebo.

En el experimento elaborado por Garnacho et al. (2018) se estudia el efecto al consumir una dosis singular de 70 ml de jugo de remolacha antes de realizar una prueba de resistencia, este menciona que la eficiencia del trabajo físico incrementa en un 22% durante la evaluación asociada a la intensidad de los umbrales ventilatorios en triatletas masculinos.

En la investigación desarrollada por Barlow (2018) donde 20 jugadores de fútbol universitarios ingieren 70 ml de jugo de remolacha concentrado o un placebo una hora antes de la prueba de esfuerzo realizada en un tapiz rodante, muestra que el consumo de jugo de remolacha mejora el

tiempo de la actividad física en un 14% comparado con el grupo placebo, lo cual produce un incremento del rendimiento deportivo durante los entrenamientos.

En la investigación realizada por Santana (2019) sobre los efectos del nitrato inorgánico en el rendimiento de pruebas contrarreloj a nivel competitivo en la cual los participantes consumen ~12 mmol de nitrato junto con 5 g de almidón resistente, se determina que la ingesta durante 4 semanas mejora el rendimiento físico y mantiene los niveles de lactato en sangre estables.

En el estudio realizado por Flueck (2019) se menciona que existen ligeras mejoras sobre el volumen máximo de oxígeno en una prueba contrarreloj (10 km) de ciclismo de mano donde 14 atletas masculinos reciben 6 mmol de nitrato en jugo de remolacha o agua como placebo, en la misma se evalúa la potencia y el consumo de oxígeno.

Según el experimento elaborado por López et al. (2020) y sus colaboradores, relacionado a los efectos que brinda el jugo de remolacha en la función neuromuscular y el incremento de las habilidades físicas de 10 jugadores de baloncesto universitarios que consumen 140 ml de jugo de remolacha concentrado o un placebo una hora antes de la prueba de esfuerzo y se determina que tras la ingesta, aumenta el tiempo de duración de la actividad en un 8.4% en comparación con el grupo de placebo.

Se realiza una prueba de resistencia incremental (60%, 70% y 80%) a 11 hombres compuesta por sentadilla trasera y press de banca para evaluar la frecuencia cardiaca durante y después del ejercicio. La conclusión indica que el consumo de óxido nítrico es una herramienta valiosa para la reducción de la carga interna del ejercicio durante el entrenamiento de alta intensidad (Jurado, 2022).

La combinación del óxido nítrico junto con otros suplementos como la citrulina para mejorar la fuerza, potencia y resistencia, es una estrategia nutricional que se aplica normalmente. El estudio elaborado por Burgos (2022), evalúa durante un periodo de 9 semanas el efecto que produce sobre las habilidades mencionadas una dosis de 3 g/día de citrulina más 2,1 g/día de jugo de remolacha, se observa un aumento en el $VO_{2\text{máx}}$ estimado con respecto a la prueba placebo y existe una tendencia positiva con respecto a los otros grupos de suplementación en las mismas pruebas.

Se seleccionan 40 atletas y realizan varias pruebas físicas por intervalos, posteriormente consumen 40 ml de jugo de remolacha una hora antes de realizar la prueba y se evidencian mejoras en el volumen espiratorio máximo y los niveles de NO_3^- en plasma aumentados después de la administración de 4.2 mmol NO_3^- . Además, se reitera la importancia del consumo diario del jugo con la dosis indicada para realmente observar las mejoras deseadas (Dorożyński, 2023).

1.1.2 Antecedentes nacionales

Existen investigaciones a nivel nacional sobre el efecto que produce el consumo de óxido nítrico derivado del jugo de remolacha para disminuir la fatiga en los atletas que practican deportes de alta intensidad, sin embargo, la información obtenida es limitada debido a la escasez de estudios sobre el tema en el país (Rojas, 2020).

En una investigación realizada por Rojas (2020) et al. y sus compañeros para el desarrollo de un proyecto de graduación de licenciatura en Ciencias del Deporte en la Escuela de Ciencias del Movimiento Humano y Calidad de Vida (Universidad Nacional), en la cual se elabora una búsqueda virtual siguiendo los lineamientos específicos para una revisión sistemática y 18 estudios cumplen los criterios de inclusión de un total de 209 artículos.

Se descubre que una ingesta crónica de ~ 5 – 6 mmol de NO₃⁻ en 70 ml de jugo de remolacha 2 veces al día, durante un periodo de 3 – 6 días, promueve el aumento de nitritos en el plasma, lo cual produce un aumento de la potencia máxima y media, el número de repeticiones de sprint, el trabajo total y mejora el tiempo, por lo tanto, se determina que disminuye el índice de fatiga y tiempos de sprints. Los resultados del estudio muestran mejoras (1.2 – 5.38%) en la disminución a la fatiga durante los sprints repetidos al consumir (Rojas, 2020).

Se estudia mediante nuevas líneas de investigación la efectividad de este suplemento natural específicamente en actividades físicas aeróbicas, aunque actualmente también se indaga su función sobre el ejercicio anaeróbico en variedad de deportes que requieren ciertas destrezas a nivel muscular.

1.1.3 Delimitación del problema

La investigación se lleva a cabo mediante una revisión sistemática de la literatura científica sobre el efecto del consumo de óxido nítrico derivado del jugo de remolacha para mejorar la resistencia a la fatiga en individuos que practican deportes de alta intensidad. Se realiza una búsqueda exhaustiva en bases de datos virtuales como PubMed, ScienceDirect, MDPI y el buscador Google Scholar, en los idiomas inglés y español utilizando las frases booleanas “Nitric oxide” AND “High intensity” AND “Sports”, “Nitric oxide” AND “High intensity” AND “Athletes”, “Nitric oxide” AND “Mechanism” AND “Sports”, “Nitric oxide” AND “Synthetic” OR “Beetroot juice”.

Se incluyen estudios con diseños experimentales en humanos, publicados entre los años 2018 y 2023, que utilicen la prueba RSA o pruebas similares relacionadas con la resistencia a esfuerzos máximos repetidos, y que además contengan las palabras clave en el título o resumen. La

selección de los estudios se realiza mediante la revisión de los títulos de los artículos obtenidos en una primera instancia a través de las bases de datos.

1.1.4 Justificación

El jugo de remolacha es uno de los suplementos naturales utilizados por deportistas que realizan ejercicio de alta intensidad para producir beneficios a nivel fisiológico específicamente relacionados con el tipo de disciplina que practican y es una estrategia nutricional de bajo costo que aprovecha las propiedades de la remolacha y reduce la probabilidad de sufrir algún riesgo o efecto adverso (Wong y Sim, 2021).

La relación que existe entre la cantidad de jugo de remolacha que se debe consumir para lograr un efecto sobre la resistencia a la fatiga y mejoras a nivel neuromuscular de acuerdo con el tipo de deporte de alta intensidad, es un indicador esencial para analizar las diferentes reacciones que se pueden producir a partir de cierta dosis (López y Pérez, 2020).

En los estudios científicos de Coggan et al. (2018) se estudian las ventajas que brinda el nitrato (NO_3^-) sobre las habilidades físicas, especialmente en los individuos que realizan deportes donde requieren mejorar la resistencia durante los entrenamientos o a nivel competitivo para lograr un mejor desempeño.

Los estudios asociados a la suplementación con los nitratos contenidos en el jugo de remolacha sugieren que se promueve el incremento de NO_3^- a nivel endógeno y disminuye el tiempo de aparición de lactato, el cual produce fatiga temprana y afecta el rendimiento deportivo (Cuenca, 2018). Por esto, es necesario desarrollar una investigación que muestre claridad en el tema y brinde una síntesis de los principales hallazgos identificados.

El jugo de remolacha se considera un superalimento o *“superfood”* por todas los nutrientes que aportan como las betalaínas que tienen un efecto antiinflamatorio, lo cual disminuye el dolor a nivel muscular y promueve un proceso de recuperación adecuado (Thompson y Vanhatalo, 2015). El deseo de tener una buena calidad de vida y el sentimiento de felicidad se pueden lograr mediante la adopción de un estilo de vida que tiene como objetivo alcanzar el nivel de satisfacción de las necesidades mentales (Malchrowicz, 2018).

El sentido de realización corresponde a uno de los principales ejes que conducen a la toma de decisiones en los individuos que practican deportes y por ello desean tener el mejor desempeño en los entrenamientos, competencias y deciden utilizar estrategias nutricionales que promuevan este proceso (Poczta, 2021).

La Teoría de Participación en Deportes Recreacionales muestra la importancia de la conducta cuando los deportistas participan en competencias, además se analizan en primera instancia los suplementos que utilizan para evaluar si son permitidos de acuerdo con las categorías diseñadas por la Agencia Mundial Antidopaje (AMA) (López, 2014). La motivación de los atletas en los eventos deportivos es un indicador de la condición psicológica en la que se encuentran (Borders, 2016).

La evidencia indica que cuando los niveles de NO aumentan en sangre, se mejora el metabolismo del músculo, de manera que previene el exceso de liberación del calcio (Wylie, 2019). Las propiedades que posee la remolacha la convierten en un método natural para tratar enfermedades como diabetes mellitus tipo 2, enfermedad cardiovascular, hipertensión y otras enfermedades crónicas (Khan, 2016). Esta es una de las razones por las cuales el consumo de jugo de remolacha es una opción de suplementación.

La elaboración de la presente revisión sistemática resulta de suma importancia y relevancia social porque cuando se trata de incrementar el rendimiento deportivo se opta por el consumo de sustancias nocivas, considerando que hay empresas productoras de suplementos nutricionales con ingredientes sintéticos que producen efectos secundarios y además utilizan técnicas de mercadeo para vender a gran escala. Por esto es mejor ofrecer alternativas naturales a los deportistas para potenciar las habilidades físicas de una manera segura y con suficiente respaldo científico.

1.2 REDACCIÓN DEL PROBLEMA CENTRAL DE LA PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

Se presenta a continuación la pregunta de la investigación mediante la cual se pretende resolver el problema central de la revisión sistemática y de acuerdo con esto mantener una línea estructurada sobre la recolección de la información.

¿Cuál es el efecto del consumo de óxido nítrico derivado del jugo de remolacha sobre la resistencia a la fatiga y su mecanismo de acción en deportes de alta intensidad?

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Objetivo general

Investigar el efecto del consumo de óxido nítrico derivado del jugo de remolacha sobre la resistencia a la fatiga y su mecanismo de acción en deportes de alta intensidad.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Caracterizar los aspectos sociodemográficos según el género y edad de los individuos que realizan diferentes deportes de alta intensidad y consumen óxido nítrico para el incremento del rendimiento físico.
2. Identificar el protocolo de intervención utilizado para la evaluación de la eficacia del óxido nítrico presente en suplementos sintéticos sobre el jugo de remolacha y su impacto sobre la resistencia a la fatiga.
3. Distinguir el mecanismo de acción del óxido nítrico contenido en el jugo de remolacha sobre la disminución de la fatiga en sujetos que practican deportes de alta intensidad.

4. Relacionar los efectos ergogénicos que brinda el óxido nítrico sobre el rendimiento físico durante su aplicación en deportes de alta intensidad.

1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES

Se presentan a continuación los alcances y limitaciones de la investigación según las observaciones de las diferentes líneas de búsqueda sujetas a la información recolectada y a todos aquellos aspectos alrededor que se muestran, ya sea para beneficiar el cumplimiento de los objetivos u obstaculizar el proceso.

1.4.1 Alcances

Se observa como hallazgo inesperado la variación respecto a la dosis de consumo y su relación con los resultados sobre el rendimiento físico, específicamente se muestra que a una dosis menor de NO los atletas logran un desempeño poco significativo en comparación con aquellos que ingieren dosis mayores. Además, se descubre que el consumo de óxido nítrico puede ser útil para tratamiento de enfermedades crónicas no transmisibles como la hipertensión.

1.4.2 Limitaciones

Los estudios experimentales sobre el óxido nítrico y el efecto que produce para potenciar el desempeño aún son escasos debido a que es un tema relativamente nuevo. Además, las variaciones que presentan los diversos métodos y protocolos de intervención influyen en los resultados, por lo tanto, puede limitar la conclusión que se obtiene a través del análisis de los valores y métricas obtenidas en las investigaciones.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 CONTEXTO TEÓRICO – CONCEPTUAL

En esta sección del proyecto se definen las variables propias de los objetivos con sus respectivas dimensiones e indicadores. Cada concepto presente se respalda mediante investigaciones y artículos científicos de diversas fuentes incluidas en la base de datos, además la información se relaciona con estudios en individuos que practican deportes de alta intensidad y utilizan óxido nítrico sintético o del jugo de remolacha para obtener beneficios ergogénicos mediante su mecanismo de acción logrando un mejor desempeño físico durante los entrenamientos y resistencia a la fatiga.

2.1.1 Características sociodemográficas

Las variables sociodemográficas influyen sobre el estado de salud de una población (González, 2009). Las variables de origen social y demográfico describen las características del comportamiento de una población y son determinantes directos sobre la tasa de crecimiento (Singh, 2017). Las características sociodemográficas de los atletas influyen en procesos de socialización, adquisición de valores, normas y conocimientos a nivel social, aprendizaje de costumbres, roles y conductas que la sociedad transmite (Tejada, 2014).

En el área de la salud los determinantes sociodemográficos son esenciales porque corresponden a condiciones sociales del ambiente donde las personas viven, trabajan y se desarrollan en diversos ámbitos (Schraufnagel, 2017). Esto tiene gran influencia sobre la salud de la población y su calidad de vida (Singh, 2017). Asociado a estos datos, se presentan a modo general las características sociodemográficas de individuos que practican deportes de alta intensidad.

El Sistema de Estadísticas Sociodemográficas (SESD) indica que mediante los indicadores de una población se puede evaluar la situación y evolución social de un país. De acuerdo con la composición de la población esta se puede caracterizar según sexo, edad, lugar de nacimiento y situación conyugal (Jara, 2015).

Las particularidades de los atletas se pueden dividir en factores intrínsecos en los cuales se encuentran aquellos asociados a las características físicas como edad, sexo, lesión previa, movilidad de las articulaciones, tensión muscular, capacidad cardiopulmonar, habilidades motoras y habilidades específicas del deporte (Pike, 2016). Los factores extrínsecos incluyen elementos con influencia sobre el perfil psicológico del atleta como la motivación, capacidad de toma de riesgos y afrontamiento del estrés (Tejada, 2014).

La literatura indica que el acceso a la educación se relaciona con la disponibilidad de actividades deportivas para los jóvenes, así como los servicios médicos que se brindan en esta modalidad (Li, 2019). El acceso a los servicios deportivos no está disponible en todas las comunidades, ya que, esto depende de factores políticos y gubernamentales (Kroshus, 2017).

La situación económica puede afectar la calidad de vida de los atletas y reducir las oportunidades para formar una carrera profesional en el deporte (Schneider, 2017). Un estudio en Estados Unidos identifica que a mayor nivel socioeconómico, aumenta la variedad de servicios deportivos (Pike, 2016), ya que, los centros educativos tienen más recursos para ofrecer instalaciones adecuadas y personal profesional que motive e instruya a la población (Schneider, 2017).

El acceso al deporte y el manejo adecuado de este a través de la contratación de entrenadores en las instituciones puede reducir el número de casos de emergencia en hospitales (Li, 2019) y

muerres por enfermedades cardiacas (Huggins, 2019). Es indispensable brindar igualdad de oportunidades y acceso a las actividades que promuevan la salud, además de estudiar a profundidad los factores sociales y económicos que limitan las posibilidades de surgir a los deportistas, especialmente en etapas iniciales.

La literatura menciona que las instituciones deportivas deben trabajar en el desarrollo de valores y normas en la sociedad (Gilmore, 2013). Se obtiene desde el ámbito sociocultural la relación con los valores sociales y culturales, percepciones, reglas, rutinas y procedimientos (Klostermann, 2014).

El nombre del instrumento que se utiliza en la psicología del deporte para evaluar aspectos motivacionales se llama Sport Motivation Scale (SMS), y su propósito es determinar el grado de motivación interna, externa o la falta de la misma en el entorno deportivo (Pelletier, 1995). Uno de los principales motivos para participar en competencias consiste en concretar logros personales y mantener un estado salud óptimo (Huggins, 2019).

Según la teoría de cambios culturales e individualismo, las personas participan en eventos deportivos no solamente para realizar actividad física, sino también por los efectos sociopsicológicos que pueden lograr a partir de experiencias confrontativas con ellos mismos (Poczta, 2018).

2.1.1.1 Edad

Las tendencias demográficas a nivel mundial muestran que el envejecimiento de la población causa consecuencias sobre el ámbito social y financiero (Cristea, 2020). En Costa Rica la tasa

de vejez en el 2008 era de 6% y en el 2020 incrementa a 8.9%, además el Instituto Nacional de Estadística y Censos (2021) estima que para el 2030 llegará al 13%.

En el ámbito de salud y deportivo el proceso de envejecimiento está relacionado con el deterioro de funciones cognitivas y físicas produciendo fragilidad, por lo tanto, aumenta el riesgo de discapacidad y dependencia (Makizako, 2012). Se estima que en el 2050 el rango de edad más sobresaliente será de 10 - 24 años (Rudnicka, 2020).

La edad en los sujetos tiene influencia sobre las adaptaciones fisiológicas que ocurren durante el entrenamiento (Rogalski, 2013). Según Gabbett (2006) el entrenamiento de alta intensidad incrementa la potencia (fuerza/velocidad) muscular y máxima aeróbica. De acuerdo con unas pruebas físicas aplicadas a jugadores de rugby, los resultados indican que el equipo junior (17 años) en comparación con el senior (25 años) presentan mejor condición física (Gabbett, 2006). El rango de edad mayoritario de atletas hombres y mujeres que participan en competencias corresponde a 34 - 40 años (Malchrowicz, 2018).

Los atletas que practican deportes de alta intensidad con más edad han experimentado mayor número de lesiones durante su carrera que aquellos deportistas menores (Gabbett y Whyte, 2014). Se realizan investigaciones para estudiar la relación entre la respuesta fisiológica y la dosis adecuada de intensidad en los entrenamientos considerando la edad y el género de los atletas.

2.1.1.2 Género

En las últimas décadas hay un incremento en la cantidad de atletas femeninas que practican deportes de alta intensidad a nivel competitivo (Santos, 2022). Esto se representa en las Olimpiadas de Tokio 2020, donde un 48% de 11.300 atletas participantes, eran mujeres. Cabe

destacar que es una de las competencias con mayor igualdad respecto a la distribución por sexo y específicamente en el evento de triatlón donde se aumenta la participación de atletas femeninas en un rango de 25% a 40% (Leppers, 2019).

Los resultados muestran que este último grupo tiene valores menores de Volumen Máximo de Oxígeno (VO_{2max}) en comparación con los hombres (Millet, 2004). Las diferencias se relacionan con factores influyentes en las mujeres como el incremento de grasa corporal, menor masa de glóbulos rojos, hemoglobina, presión final diastólica - sistólica y salida cardiaca (Schmidt, 2010). Se realizan estudios para evaluar las diferencias sobre el VO_{2max} (Volumen Máximo de Oxígeno) entre atletas masculinos y atletas femeninas (Besson, 2022).

Las mujeres presentan una proporción mayor de fibras musculares tipo I y tienen la capacidad de guardar más glucógeno que los hombres, los cuales utilizan mayormente la reserva de ácidos grasos como fuente de energía (Puccinelli, 2022). Existen variantes entre los niveles de VO_{2max} y RCP (Rapid Crack Propagation tester) entre ambos sexos (Iannetta, 2020).

2.1.1.3 Deportes de alta intensidad

Los deportes de alta intensidad son aquellos que alteran la percepción periférica del Sistema Nervioso Central (SNC) y el esfuerzo localizado mediante ejercicios repetidos de alto impacto (McLaren, 2016). Los sujetos que practican deportes de resistencia requieren consideraciones especiales debido a que los entrenamientos están conformados por ejercicios explosivos en los cuales es necesario desarrollar y mantener habilidades físicas como velocidad, potencia y fuerza (Finch, 2009).

En los equipos deportivos se realizan prácticas que disminuyen la carga musculoesquelética porque el objetivo es promover un adecuado estímulo a nivel central y periférico, por las especificaciones propias del deporte. Los entrenamientos tipo HIIT se realizan durante periodos de 2 - 6 semanas en atletas que participan en equipos, con el objetivo de mejorar su condición física y así desempeñarse al máximo en los deportes (Jones, 2015).

Los deportistas de alta intensidad necesitan mantener y mejorar de manera progresiva el sistema cardiopulmonar y neuromuscular (Buchheit, 2013). Existen varios estudios que examinan las diferentes respuestas adaptativas agudas y crónicas que tienen los atletas cuando realizan entrenamientos de HIIT (High Interval Intensity Training), deportes como ciclismo, atletismo y natación (Beard, 2019).

Se obtiene que en la práctica del ciclismo se perciben mayores sensaciones en el área periférica y el atletismo activa las percepciones de la parte central del Sistema Nervioso de los atletas (Rampinini, 2016). Este es un ejemplo de cómo puede variar el funcionamiento fisiológico dependiendo del nivel o tipo de actividad deportiva, lo cual permite observar las diferencias que existen en las características de la población en estudio.

Las habilidades motoras de los sujetos forman parte de los aspectos más importantes en los deportes de alta intensidad, no solamente por la calidad en los entrenamientos sino a nivel individual (Kumar, 2020). Varios estudios comentan sobre los factores que pueden afectar la calidad de las destrezas motoras y coinciden en que depende de diferentes dimensiones antropológicas (Stankovic, 2022).

La diferencia respecto a las cargas que se aplican en los entrenamientos de los atletas se utiliza para realizar evaluaciones sobre las respuestas neuromusculares obtenidas a partir de la práctica

de protocolos de entrenamiento HIIT (Rampinini, 2016). Utilizando el método de intervalos repetidos en los cuales se incrementa o disminuye la intensidad durante un lapso de tiempo determinado (Tomazin, 2017).

Dependiendo del grado de potencia y duración del deporte, calidad de la recuperación y volumen del entreno (Buchheit, 2013), así se estimula el proceso de transporte y utilización de oxígeno, incrementando para llegar al máximo potencial (Laursen, 2002). Existen diversidad de opiniones sobre la relación que hay entre la composición corporal de los atletas y su efecto sobre las habilidades motoras (Ismaili, 2022).

Los atletas de alto rendimiento sufren situaciones de estrés continuo debido a diferentes factores y más aún cuando enfrentan procesos para mejorar su desempeño físico (Cruickshank, 2015). Se puede medir la tolerancia del nivel de estrés mediante un cuestionario llamado The Daily Analysis of Life Demands for Athletes (DALDA), el cual se conforma por 34 preguntas (Rushall, 1990). Los efectos que se producen por decisiones riesgosas son relevantes en el ámbito social porque tienen gran influencia sobre los pensamientos, actitudes, conductas y mecanismos de adaptación en los atletas (Turyanitsya, 2021).

El cuestionario se divide en dos partes correspondientes a las fuentes que producen el estrés y los síntomas que presentan en relación con el entrenamiento como dolores corporales (Gomes, 2013). El 75% de los estudios experimentales indican que cuando las fuentes del estrés disminuyen, de igual manera decrecen los síntomas (Coutts, 2007). El estrés en el deporte se encuentra asociado a probabilidades, contradicciones, peligros e incertidumbre (Turyanitsya, 2021).

Algunos atletas de alto rendimiento son capaces de aumentar la sensación de riesgo en situaciones neutras por medio de acciones y conductas repentinas (Sannikova, 2018). El mecanismo de la realización social puede progresar rápidamente cuando se toman riesgos en el deporte por la búsqueda del sentido de aprobación en la sociedad (Kusikova, 2020).

2.1.1.4 Ubicación geográfica

Existen variedad de estudios que discuten sobre las razones referentes al éxito que tienen algunos países en los deportes y su asociación directa con los factores demográficos (Fadal, 2011). La situación socioeconómica, los elementos que forman parte de la sociedad, ubicación geográfica y política de un país, influyen sobre el rendimiento que puede tener el atleta (Flegl, 2014).

La temperatura y topografía del país o región donde provienen los atletas puede significar su éxito o derrota en el ámbito deportivo (Lozano, 2002). Cuando la población del país es grande, esto equivale a rangos de competencia elevados porque hay mucho talento que se selecciona para participar en juegos internacionales (Foster, 2010).

2.1.2 Protocolo de intervención

Se define como la acción en el área clínica enfocada en modificar uno o más factores de los individuos para analizar los efectos o resultados y se puede realizar de manera individual o grupal (Zurita, 2018). Según el Comité Ético de Experimentación de la Universidad de Sevilla (2001) los estudios experimentales en seres humanos deben tener una serie de principios para asegurar el respeto, integridad y dignidad de los individuos que participan en los proyectos y cuyos conocimientos se aprovechan para incrementar el bienestar y calidad de vida de la población.

La estructura de una intervención se caracteriza por la relación que existe entre una variable independiente y la reacción que produce sobre aquella dependiente (Mata y Esquivel, 1999). En la investigación experimental se realizan procedimientos, manipulaciones físicas, intervenciones e inclusive acciones de contacto y en la observacional los sujetos se analizan con detenimiento, aunque los cambios físicos suelen ser mínimos (Ramos, 2021).

Cabe destacar que para la presente investigación se utilizan artículos científicos con un protocolo de intervención experimental, la razón consiste en que los participantes de los estudios deben consumir óxido nítrico durante un periodo para la evaluación de su efectividad en el organismo.

2.1.2.1 Uso crónico agudo de óxido nítrico

El efecto de una sustancia sobre el organismo se puede medir mediante la aplicación de distintos protocolos que involucran una ingesta única / esporádica o repetida de la misma (Burke, 2018).

El uso crónico de una sustancia comprende un periodo de 3 - 15 días o inclusive más y el uso

agudo corresponde a 1 dosis antes de realizar el entrenamiento o competencia, lo cual se asocia con un aumento del rendimiento (Bailer, 2012).

Un estudio en Estocolmo (Suecia) cuyos participantes incluyen a Larsen et al. (2007) sobre los efectos del nitrato de sodio en la dieta durante tres días, que en este caso se considera de uso crónico. Se evalúa la efectividad a través de los parámetros metabólicos durante el ejercicio y con una suplementación de (0,1 mmol kg⁻¹ día⁻¹) o con una cantidad igual de cloruro de sodio (placebo) y los resultados indican que una intervención en la dieta a corto plazo mejora la eficiencia del trabajo físico y el rendimiento a nivel general.

El uso repetido de un suplemento consiste en la combinación de dos o más eventos deportivos en un periodo de 24 horas, aunque para llegar a esto es necesario pasar primero por el protocolo agudo y realizar una evaluación que permita obtener los ajustes necesarios para producir los efectos deseados (Burke, 2018).

2.1.2.2 Suplementación con NO sintético

Se pueden utilizar suplementos de NO sintéticos en los protocolos de intervención que corresponden a potenciadores como la L-arginina siendo una precursora de la biosíntesis de NO y se puede ingerir vía oral o intravenosa (Burgaud, 2002). Otro precursor es el Propionil - L-carnitina, sin embargo, este se usa como tratamiento de la claudicación intermitente y en una intervención de 4 semanas cuyos participantes son hombres que realizan entrenamientos de fuerza, los resultados indican que con una dosis oral diaria se incrementan los niveles plasmáticos de NO (Figuerola, 2020).

La producción endógena de NO sucede mediante dos vías lideradas por precursores como L-arginina y nitratos, además de la L-citrulina que potencia la función de la L-arginina (Bailey, 2012). La reducción del nitrato inorgánico obtenido de la dieta a NO, sucede de manera paralela con la síntesis endógena del NO proveniente de la L-arginina (Lundberg, 2008). Los precursores pueden estimular directamente la síntesis de proteína muscular mediante la vía de activación de la ruta uno (Figueroa, 2020).

2.1.2.3 Suplementación con jugo de remolacha

El jugo de remolacha contiene una concentración de nitrato por encima de 11.4 g/L (Drinks, 2019). Los estudios en laboratorios de Larsen et al. (2007) y Bailey et al. (2015) demuestran que la ingesta de NO disminuye el consumo de oxígeno durante el ejercicio y aumenta la tolerancia de los atletas en los entrenamientos de alta intensidad

La evidencia científica indica que el jugo de remolacha puede elevar la eficiencia del oxígeno en deportes de alta intensidad como el ciclismo mejorando el rendimiento físico en atletas (Cermak, 2012) y su uso como suplemento natural incrementa con los años, principalmente en deportes de resistencia (Arciero, 2015).

Estudios recientes muestran que la suplementación con jugo de remolacha produce un impacto positivo sobre las respuestas fisiológicas durante el ejercicio (Ferguson, 2013). El NO de la remolacha puede mejorar la producción endógena de este en el músculo esquelético, lo cual genera un aumento del flujo sanguíneo y la cantidad de oxígeno que se brinda (Wylie, 2013). Por esto, se determina que tanto los estados ventilatorios y anaeróbicos son variables importantes para medir el aguante que puede tener un atleta durante su entrenamiento (Wylie, 2019).

En natación se determinan algunas ventajas tras su ingesta debido a que las medidas de ciertos parámetros fisiológicos como el consumo de oxígeno y los estados anaeróbicos durante la práctica no se pueden medir de manera efectiva por limitaciones técnicas por la dificultad de realizar las pruebas por los gases espirados en la piscina, aunque se realizan dichas mediciones con un snorkel adaptado que recolecta los parámetros respiratorios (Pinna, 2013).

Los nitratos pueden aumentar en el tejido a través de la dieta en alimentos como remolacha, lechuga, espinaca, apio y rúcula (Edwards, 2004). El óxido nítrico también se puede aumentar de manera natural en respuesta a sesiones agudas de ejercicio (Chin-Dusting, 1996) o si se realizan adaptaciones al entrenamiento frecuente (Bailey, 2015). Por esta razón, los individuos activos tienen mayor cantidad de NO en el organismo y los niveles aumentan siguiendo condiciones específicas relacionadas con la alimentación.

Tabla 1. Clasificación de los vegetales según la cantidad de nitratos.

Nivel de nitratos	Contenido por kg (vegetal fresco)	Vegetales
Muy alto	2500 mg/40 mmol	Remolacha y jugo de remolacha, apio, lechuga, rúcula, espinaca.
Alto	1000 - 2500 mg/18 - 40 mmol	Col china, apio nabo, endivia, puerro, perejil, col rizada.
Moderado	500 - 1000 mg/9 - 18 mmol	Coles, eneldos, rabos, jugo de zanahoria.
Bajo	200 - 500 mg/3 - 9 mmol	Brócoli, zanahoria, coliflor, pepino, calabaza, jugo de vegetales.
Muy bajo	< 200 mg/<3 mmol	Espárragos, alcachofas, habas, judías verdes, guisantes, pimiento, tomate, sandía, batatas, papa, ajo, cebolla, berenjena, hongos.

Fuente: Bryan N.S, Hord N. G. (2010). Nitratos y nitritos alimenticios. Food Nutrition and Nitric Oxide pathway. Destech Pub Inc. pp 59 - 77.

Los sujetos que practican deportes pueden aprovechar los beneficios, si se consume una dosis óptima (Galán, 2016), utilizando las fuentes de nitrato de origen vegetal que se muestran en la *tabla 1*. La ingesta frecuente de jugo de remolacha puede aumentar en un 15% el tiempo en el cual se produce la fatiga o agotamiento (Cercadillo, 2016).

2.1.2.4 Cantidad utilizada

El protocolo de la cantidad establecida de acuerdo con el Instituto Internacional para la Nutrición y la Ciencias del Deporte (IINCD, 2016), establece el consumo de 400-500 ml de jugo de remolacha lo que equivale a (~8-9 mmol) de NO durante 1 - 15 días para realmente evaluar los resultados con suficientes pruebas. La cantidad de jugo de remolacha sugerida en los protocolos de estudios experimentales según Negueruela (2014) es de 0,1 mmol/kg de masa corporal.

La diferencia entre métodos consiste en que la ingesta vía oral no muestra efectos de vasodilatación debido a las diferencias en la biodisponibilidad oral de la L-arginina (Campbell, 2006). Respecto al Propionil - L-carnitina, se sugieren 4.5 g/día para experimentar el incremento de NO en plasma (Bian, 2008). La dosis de NO sintético en forma de L-arginina es de 12 g/día vía oral (tabletas) y 20-30 g/día intravenoso (IINCD, 2016).

El método exacto para saber la cantidad nitrato que se debe consumir si se desea lograr efectos relacionados a la eficiencia aeróbica durante esfuerzos máximos, aún es incierto (Lansley, 2011). Sin embargo, existen varias teorías postuladas para explicar cómo puede ocurrir este efecto y una de estas es la eficiencia mitocondrial (Cuenca, 2018).

2.1.2.5 Tiempo pre-ingesta

El Instituto Internacional para la nutrición y las ciencias del deporte (IINCD, 2016) indica que el tiempo de pre-ingesta adecuado para consumir la cantidad de NO sugerida correspondiente a ~8-9 mmol/d como se menciona en el punto anterior, es de 2 a 3 horas antes del evento deportivo o entrenamiento. El NO tiene una vida media-corta de duración y debido a esto se requiere del flujo sanguíneo que se encuentra sobre la pared de las arterias para producir un aporte continuo de NO a través de las células (Lansley, 2011).

El tiempo de recuperación que tienen los deportistas entre las sesiones o días de entrenamiento (mínimo 72 horas), casi nunca resulta ser suficiente para lograr restaurar todos los tejidos y músculos debido a la intensidad de los entrenamientos (Barnett, 2006). Sin embargo, los entrenadores de equipos élite buscan desarrollar estrategias que minimicen las consecuencias negativas (Thompson, 2018).

2.1.2.6 Variables que influyen sobre el efecto del NO

Existen diversas variables que se relacionan con el efecto producido por el NO, entre las cuales destacan: la participación de individuos entrenados que cumplan con las características de la población en estudio, nivel de las habilidades según las exigencias del evento deportivo, utilización de protocolos de rendimiento que simulen las competiciones, ejecución de análisis estadísticos para la evaluación de cambios en el desempeño físico y uso de formulaciones aprobadas de suplementos para asegurar la ausencia de contaminantes y la obtención de las dosis deseadas (Jones, 2014).

2.1.2.6.1 Control de lavado de dientes

Se obtiene según Rosier (2019) un investigador de la Fundación para el Fomento de la Investigación Sanitaria y Biomédica de la Comunitat Valenciana, que la microbiota oral tiene una función de protección contra patógenos externos y, además, juega un papel importante en la conversión del nitrato a nitrito, el cual se reduce a óxido nítrico y cuando se realiza un lavado de dientes mueren las bacterias orales que realizan dicho proceso.

El American Dental Association (2023) recomienda realizar el lavado de dientes con una frecuencia de 2 veces al día para no eliminar una cantidad excesiva de bacterias beneficiosas, pero aun así mantener una higiene bucal adecuada.

2.1.2.6.2 Control de enjuague bucal

El NO es primeramente absorbido por la parte superior del intestino delgado para pasar al torrente sanguíneo (Lundberg, 2008). El 25% del nitrato circulante ingresa al ciclo entero-salivatorio donde ciertas especies de bacterias localizadas en la lengua se encargan de pasar el nitrato a nitrito (Lidder, 2013). Por esta razón, existen tratamientos orales antibacteriales como el enjuague bucal que realizan dicha reacción de disminución (Webb, 2008). En circunstancias normales también puede ocurrir que el nitrito salivatorio se reabsorbe en el proceso digestivo (Lundberg, 2008).

Investigaciones recientes encuentran una relación entre el uso del enjuague bucal con el aumento de la tensión sanguínea debido a que la microbiota oral está compuesta por bacterias cuya función es reducir el nitrito a óxido nítrico como se menciona en el punto anterior, por lo tanto,

en el proceso de desinfección pueden morir estas bacterias benignas y se reduce la cantidad de NO disponible (Rosier, 2019).

2.1.3 Mecanismo de acción del óxido nítrico

La palabra "mecanismo" en términos científicos se refiere a un método que se evalúa por la ciencia bioquímica y genética de manera rigurosa, ya que, los resultados que se logran a partir de este término son a nivel fisiológico mediante modificaciones en las células del cuerpo (Gardel, 2015). Un ejemplo de este concepto son los mecanismos utilizados por los órganos de los sistemas del cuerpo para mantener la homeostasis (Kar, 2019). El mecanismo de acción consiste en el proceso necesario para lograr un efecto en el organismo al ingerir una sustancia o medicamento (NCI, 2022).

La biología es una ciencia encargada de estudiar las bases moleculares de diversos procesos celulares muy complejos como genomas, replicación, migración, metabolismo y adhesión. Además, la combinación interdisciplinaria de la biología, bioquímica, física química y microscópica, las cuales permiten identificar la composición y estructura de macromoléculas (Gardel, 2015).

La liberación de NO en el sistema cardiovascular es indispensable para mantener las funciones vasculares en niveles normales, como la regulación de tono empleando diversos mecanismos (Sadoo, 2010). En el sistema vascular el NO colabora en la inhibición de la adhesión, agregación y reclutamiento de las plaquetas asociadas al crecimiento de trombos por la hiperactividad de estas (Bladowski, 2020).

Existe una reacción fisiológica entre el NO y un anión superóxido $O_2^{\cdot-}$ para producir peroxinitrito (ONOO⁻), la cual consiste en una molécula reactiva capaz de oxidar proteínas,

lípidos y nucleótidos (Pérez de la Lastra, 2022). Las fuentes de $O_2^{\cdot-}$ se encuentran principalmente en la mitocondria y células inmunes (los macrófagos y granulocitos), además su combinación con NO produce un estado de inflamación (Mittal, 2014).

El óxido nítrico (NO) es un vasodilatador del músculo suave subyacente que tiene un rol esencial sobre el mantenimiento del tono vascular de los vasos sanguíneos. El endotelio libera factores vasoactivos como NO, prostaciclina (PGI₂) y factor hiperpolarizante derivado del endotelio (EDHF) o factores vasoconstrictores como el tromboxano (TXA₂) y la endotelina-1 (ET-1), siendo el NO uno de los más influyentes sobre el organismo (Pérez de la Lastra, 2022).

Existen principalmente tres isoformas de la enzima que produce el óxido nítrico comenzando por el metabolismo de la arginina, óxido nítrico endotelial sintetasa (eNOS), óxido nítrico inducible sintetasa (iNOS) y el óxido nítrico neuronal sintetasa (nNOS). La actividad de las isoformas depende de la activación o inactivación de las rutas de señalización a nivel intracelular (Sadoo, 2010). El NO cumple variedad de roles esenciales para el funcionamiento del organismo y es secretado por órganos y tejidos (Serreli, 2023).

2.1.3.1 Óxido nítrico

El óxido nítrico es una molécula que forma parte de los gasotransmisores los cuales consisten en un conjunto de compuestos gaseosos (Albertos, 2016). Esta familia de gases tiene una función reguladora importante en procesos de desarrollo y ante la respuesta al estrés, lo cual permite la modificación de biomoléculas orgánicas como algunas proteínas utilizando mecanismos como la S-nitrosilación de residuos de cisteína, tirosina y metales de transición (Sánchez, 2019). Esta molécula puede lograr cambios en su estabilidad, actividad e inclusive localización (Albertos, 2016).

Es producido por las células endoteliales y se considera una molécula indispensable en diferentes procesos fisiológicos por el cumplimiento de funciones como defensa contra microorganismos, interviene en la comunicación neuronal y la regulación vascular (Albertos, 2016). Respecto a la información anterior, se observa que el óxido nítrico se produce de manera endógena, por lo tanto, el aprovechamiento de sus beneficios proviene de forma natural.

Se obtiene que cuando el óxido nítrico es incluido en la dieta, este promueve el incremento de NO_3^- en plasma, reduce la presión arterial y el gasto de oxígeno en entrenamientos de máximo nivel (Casamayor, 2013). Además, se produce una tolerancia mayor en algunos ejercicios, lo cual permite obtener un mayor rendimiento físico (Sánchez, 2019).

2.1.3.2 Velocidad de oxidación del NO

La actividad de las isoformas del NOS son dirigidas por procesos y rutas intracelulares moduladas por factores endógenos y exógenos; por ejemplo, las sustancias exógenas son capaces de modificar la expresión y funcionalidad de las isoformas del NOS como polifenoles, metabolitos secundarios de las plantas, los cuales han tomado un importante papel en el tratamiento y prevención de enfermedades (Michel, 1997). Existe un incremento en las investigaciones sobre la modulación de la producción de NO a través de variedad de polifenoles (Lamas, 1992).

2.1.3.2.1 NOS Inducible

El iNOS es transcripcionalmente regulado y no se secreta en la mayoría de los tejidos de los seres humanos (Soskic, 2011). Se induce por un estímulo en la parte exterior de casi todos los

tipos de célula y produce elevados niveles de NO en el organismo por lapsos de tiempo (Vannini, 2015).

La principal expresión de esta isoforma consiste en macrófagos, neutrófilos y células epiteliales, cuyo nivel de actividad depende de la cantidad de arginina disponible, por esto se le atribuye que es dependiente de la regulación del transporte de arginina y otras rutas bioquímicas (Sudar, 2011). Existe una enzima *homodimer* que tiene una función de constitución dentro de la misma (Heiss, 2014).

Según un experimento realizado por Saha (2006), la expresión de iNOS en ratas murinas que fueron inducidas a incubación con bacterias Gramnegativas y citoquinas estimulantes como interferón- β , interleucina 1- β , interleucina 6, factor necrosis tumoral- α (TNF- α) y otros compuestos, además en la inclusión de diferentes activadores e inhibidores se observa que puede inducir o inhibir la expresión de iNOS mediante la activación o bloqueo de las rutas de transducción (Luo, 2014).

Adicionalmente, se estudia que el factor de transcripción nuclear NF-kB es una fuente de activadores o inhibidores sobre la expresión iNOS y otros como el LPS, interleucina 1- β , factor necrosis tumoral- α (TNF- α) y el estrés oxidativo, induce la liberación de iNOS en diferentes tipos de células activando NF-kB. Además, la inhibición de iNOS se produce por elementos como glucocorticoides, TGF β -1, antioxidantes e inhibidores de la fosfolipasa C y se encuentran ligados a la inactivación de NF-kB (Vannini, 2015).

2.1.3.2.2 NOS Endotelial

El eNOS se constituye por células endoteliales que sintetizan el NO para la regulación de la presión sanguínea y el lugar donde ocurre este proceso corresponde a las grandes arterias

endoteliales con un porcentaje menor en aquellas que son pequeñas o carecen de células capilares endoteliales (ECs) (Heiss, 2010). Además, este puede ser expresado no sólo por células del endotelio, sino también por cardiomiocitos y en casi todas las células sanguíneas como los eritrocitos, leucocitos, plaquetas y células angiogénicas circulatorias (Luo, 2014).

Esta enzima se compone de dos monómeros idénticos los cuales poseen un dominio amino-terminal oxidasa y el dominio carboxi-terminal reductasa (Forstermann, 2011). Para producir NO a partir de los sustratos oxígeno y L-arginina, es necesario que este proceso ocurra desde el dominio reductasa de un monómero hasta el dominio oxigenasa de otro que se encuentra seguido (Dudzinski, 2006).

Si no existe el cofactor, eNOS puede cambiar de la forma dimérica a monomérica cuando se desempareja y en lugar de sintetizar NO, libera en grandes cantidades aniones de $O_2\cdot$, radicales libres reactivos produciendo efectos adversos sobre el sistema cardiovascular (Luo, 2014). En las células endoteliales en descanso eNOS interactúa con la caveolina que se encuentra en la caveola a la unión proteína-proteína la cual inhibe la actividad enmascarando el sitio de asociación de CaM (Araki, 2020).

Las propiedades de eNOS permiten el cumplimiento de funciones correspondientes a la regulación en la sensibilidad del Ca^{+} y algunas modificaciones localizadas a nivel subcelular como la fosforilación y la N-nitrosilación, lo cual permite a la enzima responder a los diversos agentes neurohormonales y fuerzas hemodinámicas (Heiss, 2014).

El proceso bioquímico puede producir la adhesión de células proteicas llamadas integrinas (Loufrani, 2008), adhesión molecular de plaquetas de células endoteliales y proteínas citoesqueléticas (Otte, 2009). Posteriormente a la activación de dichas proteínas el inositol 1, 4,

5 - trifosfato quinasa se activa y abre paso a la fosforilación de la proteína quinasa B (PKB)/Akt que a su vez los fosforila y activa eNOS liberando de esta manera NO (Heine, 2014).

La fuente de NO para el proceso de nitrosilación es esencialmente el eNOS que se encuentra en las membranas de las caveolas (Erwin, 2005). El eNOS inactivo en las células endoteliales es inhibido por la S-nitrosilación que incluye 2 residuos de cisteína y en respuesta del agonista es activado por la desnitrosación (Santana, 2019).

2.1.3.2.3 NOS Neuronal

El nNOS se encuentra en diversidad de neuronas con cierto nivel de madurez en los nervios centrales y periféricos, los cuales son expresados normalmente en enzimas y neuronas mediante la aplicación de ciertos tratamientos (Tuteja, 2004). El NOS está de forma endógena en el músculo esquelético, músculo cardiaco y en el liso, donde cumple funciones de irrigación sanguínea y contractibilidad (Heine, 2014).

El monómero de nNOS posee una estructura que contiene un dominio doble el cual incluye un dominio oxigenasa (N- terminal) y un dominio reductasa (C-terminal) que se dividen en L-arginina que contiene una unión del sitio BH4 y un citocromo P-450 hemo en el sitio activo, además cuando se vincula con el Zn facilita la dimerización de nNOS (Lim, 2015).

El dominio FMN posee una función auto-inhibitoria que controla la actividad de nNOS y la dimerización, esto aumenta su actividad a través de sitios con alta afinidad que asocian a la L-arginina y BH4, los cuales facilitan el flow de los electrones de un monómero a otro (Forstermann, 2011).

La estabilización de los dímeros resguarda a nNOS de la proteólisis y la desestabilización (Heine, 2014). Se evidencia que la fosforilación de nNOS es importante sobre la regulación de su actividad (El-Mlili, 2008). Esto lo hace más susceptible hidrólisis por tripsina y a la fosforilación por la proteína quinasa (PKC) que forma parte de una familia de enzimas involucradas en la señalización de rutas encargadas de fosforilar sustratos (Lim, 2015).

2.1.3.3 Umbral de activación

Cuando el proceso de fosforilación ocurre en diferentes sitios de nNOS puede producir variedad efectos dependiendo de la función específica que tiene en el lugar. La proteína quinasa Ca^{2+} -CaM se encuentra directamente relacionada con la quinasa II (CaMKII) fosforila a nNOS en Ser847 que reduce su actividad inhibiendo a Ca^{2+} -CaM para la prevención del desplazamiento del sistema debido a altas concentraciones (Araki, 2020).

2.1.3.4 Síntesis de ATP

La reducción del ATP que se utiliza es una consecuencia de la función reguladora del NO en procesos como el bombeo de calcio en el retículo endoplasmático (Viner, 2000) o también en interacciones miofibrilares de la actina-miosina (Galler, 1997). Los nitratos del jugo de remolacha tienen la capacidad de dilatar los vasos sanguíneos (Bailey y Winyard, 2009), este beneficio incrementa la eficiencia del ejercicio y reduce el costo del oxígeno en un 4% - 5% (Lansley, 2011). El NO puede producir alteraciones en la utilización del calcio y reducir el costo de ATP de la producción de fuerza (Flueck, 2019).

La mejora del proceso de vasodilatación durante el entrenamiento de resistencia facilita el transporte de nutrientes y oxígeno hacia el tejido muscular activo, lo cual permite incrementar

la eficiencia de contracción y reponer el ATP entre los intervalos (Vårvik, 2023). Esto facilita el reciclaje del ATP, por lo tanto, hay más energía disponible de manera más rápida.

2.1.3.5 Aparición de la fatiga

El rendimiento físico de un atleta en respuesta al entrenamiento se puede estimar por diferencias entre una función negativa como lo es la fatiga y otra positiva (fitness). El estímulo ideal durante los entrenos es una de las claves para lograr una carga apropiada y disminuir las consecuencias negativas que se pueden generar como lesiones, fatiga, enfermedades y sobreentrenamiento (Cuenca 2018).

2.1.3.6 Glucógeno muscular y PH

El entrenamiento de alta intensidad requiere que los atletas desarrollen cierta capacidad glucolítica para que tengan suficientes mecanismos de defensa contra la acidosis muscular y consecuentemente no disminuyan el rendimiento. Por esta razón, las adaptaciones fisiológicas y metabólicas inducidas por el entrenamiento en intervalos son necesarias para que los atletas adquieran habilidades físicas que les permita desempeñar su máximo potencial (Burgomaster, 2008).

De acuerdo con la literatura una de las claves para lograr la adaptación fisiológica en los entrenamientos de resistencia e intervalos, consiste en aumentar el volumen mareomotriz y reducir la frecuencia respiratoria (Beck, 1998). Estos cambios pueden disminuir la proporción de oxígeno que se utiliza y de esta manera mejorar la eficiencia muscular de los atletas, ya sea, durante los entrenamientos o competencias (Burgos, 2022).

2.1.4 Efectos ergogénicos

Son mejoras en el rendimiento físico y la salud al consumir una sustancia, especialmente en sujetos que practican deportes (Ibáñez, 2017). Los potenciales beneficios del nitrato se obtienen mediante la conversión del nitrito a óxido nítrico (NO), es decir, esta reacción debe suceder para promover las mejoras en el rendimiento físico (Hoon, 2014). Sin embargo, los organismos son diferentes y por ello no todos los individuos responden igual ante el consumo de nitratos (Wilkerson, 2012).

El jugo de remolacha se utiliza en la actualidad para mejorar el rendimiento físico por la cantidad de óxido nítrico que contiene, lo cual puede disminuir el tiempo de desarrollo de la fatiga durante los entrenamientos, así como aumentar la capacidad de los músculos en deportes de intensidad. Se obtiene que en las últimas décadas hay un incremento progresivo en la búsqueda y consumo de sustancias ergogénicas caracterizadas por producir mejoras en el rendimiento deportivo (Ormsbee M. J., 2013).

2.1.4.1 Jugo de remolacha

La remolacha o *Beta Vulgaris rubra* es una excelente fuente de antioxidantes y micronutrientes como el potasio, betaína, sodio, magnesio, vitamina C, nitrato (NO) y aporta 29 kcal por 100g (Baltimore, 2013). Es un vegetal de raíz que se estudia actualmente porque es un "alimento funcional", aunque desde los tiempos romanos se utilizaba como una alternativa natural para curar o tratar enfermedades (Ninfali, 2013).

En la actualidad, se produce en muchos países alrededor del mundo y comúnmente forma parte de la dieta de los individuos (Georgiev, 2010). El interés por este vegetal se relaciona con la

proporción de nitratos que posee y la efectividad para tratar patologías cardiovasculares o aquellas que implican un estado de inflamación (Araki, 2020).

2.1.4.2 Beneficios

Beta vulgaris rubra tiene un rol importante en la medicina alternativa para el tratamiento de ciertas condiciones clínicas, lo cual se respalda con evidencia científica (Zielinska, 2009). Los estudios recientes investigan las acciones fisiológicas y biológicas que ocurren en el organismo tras su consumo, además se evalúa su uso en intervenciones nutricionales para la prevención de estrés oxidativo, inflamación, función endotelial y cognitiva (Ting, 2014).

2.1.4.2.1 Biodisponibilidad en el organismo

Uno de los requisitos para que un alimento tenga buena disponibilidad corresponde a que este debe ser capaz de mantener su estructura molecular durante las distintas fases del proceso digestivo (Rein, 2013). Según Rein (2013) es importante evaluar los beneficios que brinda un alimento a partir de estudios con protocolos bien diseñados y enfocados en el análisis de la biodisponibilidad de sus nutrientes. Las moléculas de los alimentos pueden sufrir ciertos cambios cuando se digieren y de esta manera afectan su aprovechamiento en el organismo (Ting, 2014).

De acuerdo con la literatura para que un alimento se catalogue como beneficioso debe tener suficiente biodisponibilidad (Wootton, 2014). Este es un proceso que ocurre después de la ingestión del alimento cuando los componentes activos se absorben a través del tracto gastrointestinal (Toutain, 2004) y los nutrientes deben ingresar a la circulación sistémica para que puedan aprovecharse adecuadamente (Wootton, 2014).

Respecto a la biodisponibilidad del nitrato y las betalainas, ambos inorgánicos y compuestos mayoritarios en la remolacha. Específicamente el nitrato inorgánico tiene una biodisponibilidad del 100% de absorción (Van, 2008) y las betalainas poseen de 0.5% hasta 0.9%, dicho valor se identifica en la orina de los participantes de un estudio 12 horas después de consumir 300 ml de jugo de remolacha (Wootton, 2014). Estos datos indican que la biodisponibilidad de los nutrientes principales de la remolacha es elevada y por ende, el organismo aprovecha los beneficios de una manera más eficiente.

2.1.4.2.2 Disminuye el estrés oxidativo

La remolacha aporta una cantidad significativa de antioxidantes, los cuales ayudan a proteger la barrera celular de compuestos dañinos (Kannan, 2000). Las moléculas capaces de oxidar son normalmente especies de oxígeno y nitrógeno reactivo (RONS) y se generan en el metabolismo celular (Kohen, 2002). Cuando hay bajas concentraciones de RONS, estas tienen un papel importante en diversos procesos bioquímicos y celulares (Ting, 2014).

La principal causa del deterioro celular surge por la excesiva exposición de la célula a los RONS exógenos (rayos ultravioletas) y endógenos sintetizados (inflamación), producen una sobrecarga en la defensa de los antioxidantes propios del organismo (Kohen, 2002). Esto a su vez causa un desbalance en la homeostasis redox (Madamanchi, 2005), lo cual deriva en una condición que se denomina estrés oxidativo (Vidal, 2014).

Las betalainas en la remolacha poseen una elevada actividad antioxidante por su capacidad de aportar un electrón donante y la habilidad de desactivar radicales reactivos que se encuentran en las membranas celulares (Kanner, 2001). No obstante, existen otros compuestos que cumplen

la misma función como los fenólicos bioactivos (Manach, 2005), algunos de estos corresponden a rutina, epicatequina y ácido cafeico (Ting, 2014).

2.1.4.2.3 Disminuye la inflamación

La inflamación es un proceso que sucede como respuesta a un estímulo biológico o físico como traumas, infecciones y otros patógenos que producen daños en el organismo y desequilibran la homeostasis (Monteiro, 2010). La activación inmune instantáneamente causa síntomas como enrojecimiento, hinchazón y dolor (Yoon, 2005) y si las implicaciones de la inflamación persisten a largo plazo, podría tratarse de una condición crónica (Calixto, 2004).

Se determina en un estudio realizado por Pietrzkowski (2010) que la dosis terapéutica utilizando cápsulas orales de betalainas provenientes de ciertos extractos de la remolacha, pueden disminuir la inflamación y los dolores en pacientes con osteoartritis. Las betalainas y los extractos de la remolacha tienen potentes agentes pro-inflamatorios (Vidal, 2014).

2.1.4.2.4 Mejora la función endotelial

El nitrato contenido en la remolacha se metaboliza en nitrito el cual se reduce para formar NO. Esta conversión es catalizada por moléculas reductasas, variedad de proteínas y antioxidantes (Hobbs, 2013), los cuales facilitan el proceso de reducción (Gladwin, 2005). La disfunción endotelial es una de las principales causas de las afecciones cardiovasculares debido a que se implica en la patogénesis de la hipertensión y aterosclerosis (Zhang, 2019).

La remolacha es una fuente de NO que se estudia como método nutricional para mantener o restaurar la función endotelial (Joris, 2014). En el estudio de Webb (2008) para evaluar los beneficios de la remolacha sobre el endotelio, miden la dilatación de la arteria braquial

utilizando una técnica llamada Mediated Dilatation Technique (FMD). Los participantes consumen 500 ml (23 mmol NO) de jugo de remolacha y se les aplica la prueba FMD, 2 horas después de la ingesta y el resultado fue el mantenimiento de los niveles pre-isquémicos.

2.1.4.2.5 Mejora la función cognitiva

El envejecimiento es parte de la vida y así los problemas que se generan a nivel cerebral; un ejemplo es la reducción de la perfusión cerebral que se relaciona con problemas neurológicos (Demencia o Alzheimer) (De la Torre, 2000). La función cognitiva sufre un deterioro con el paso de los años como parte de un proceso fisiológico normal y puede producir la disminución del flujo sanguíneo en el cerebro (Bond, 2013).

Uno de los mayores factores de riesgo para desarrollar hipo-perfusión cerebral es una disrupción de la función neurovascular mediado por un daño en la actividad de NO (De la Torre, 2000). La capacidad disminuida de generar NO puede perjudicar la función normal del metabolismo energético del cerebro (utilización de glucosa) y la actividad neuronal (comunicación celular) (Bondonno, 2014).

2.1.4.2.6 Tratamiento para enfermedades crónicas no transmisibles

Algunas de las condiciones clínicas en las cuales se estudian mejoras significativas a través del consumo de jugo de remolacha, corresponden a diabetes mellitus tipo 2, hipertensión (Vanhatalo, 2010), demencia (Presley, 2011) y aterosclerosis (Vanhatalo, 2010). Los estudios experimentales indican que la remolacha es un tratamiento efectivo para la hipertensión porque disminuye la presión sistólica y diastólica (Gilchrist, 2014).

Las betalaínas, específicamente el subgrupo de las de las betacianinas que tienen la función de suprimir las formas de oxígeno reactivo en las células libres, logran disminuir el estrés oxidativo (Wang, 2022). Estos antioxidantes se conocen por sus propiedades inmunomoduladoras y permiten la interferencia molecular con rutas de señalización proinflamatorias (Tesoriere, 2014).

Las betacianinas tienen una intensidad de absorción lenta, la cual se refleja en la tasa de excreción urinaria (Clifford, 2017) y la mayor parte del pigmento debe pasar por el tracto gastrointestinal para su posterior transformación y así ingresar a la circulación enterohepática (Wiczowski, 2018). Los compuestos fenólicos de la remolacha como el ácido clorogénico, ácido ferúlico y quercetina disminuyen la inflamación intestinal (Zhang, 2019). En primer lugar, se logra gracias a la estimulación de probióticos (Lin, 2019) y en segundo lugar por mecanismos inmunorreguladores (Liu, 2019).

2.1.4.3 Potencia

Los resultados muestran una correlación entre la potencia de pierna la cual es una de las situaciones donde hay mayor esfuerzo en el reclutamiento motor, porcentaje de masa libre de grasa y masa muscular (Valadés, 2015). Además, existen otras destrezas que influyen sobre el rendimiento como la intensidad, duración de las actividades, fuerza y velocidad en los sprints (Bozic, 2019).

En el estudio realizado por Clifford (2016) se indica que el jugo de remolacha es capaz de reducir el daño muscular después de ejercicios excéntricos, es decir, aquellos que utilizan potencia (fuerza x velocidad) y esto se evidencia después de realizar saltos de 100 gotas y en la medición de diferentes tasas de daño muscular, además los resultados muestran una reducción

significativa del dolor muscular. Es indispensable monitorear el estado de salud de los atletas de alto rendimiento (Gastin, 2013). Se aplican cuestionarios sencillos con escalas de Likert del 1 - 10 cuyo enfoque se centra en determinar si los atletas tienen las habilidades para el entrenamiento o no (Wehbe, 2015).

2.1.4.4 Duración en los sprints

Los ejercicios correspondientes a sprints repetidos con esfuerzos máximos de corta duración (2-6 segundos), se completan de manera intermitente e incluyen periodos de recuperación (≤ 60 segundos), lo cual produce estrés a nivel fisiológico y en el sistema neuromuscular (Girard, 2011). El límite anaeróbico se puede evaluar mediante el reclutamiento de las fibras musculares al realizar un trabajo físico debido a la sensibilidad ante un esfuerzo percibido (Wylie, 2019).

El gasto de energía que utiliza el organismo para realizar sprints repetidos conlleva al estrés metabólico, por lo tanto, se pueden producir alteraciones en el sistema inmune, nervioso, endocrino y un aumento en las especies de oxígeno reactivo (Bogdanis, 2013). Los datos indican que los alimentos ricos en antioxidantes como la remolacha, reducen la oxidación celular después de la práctica de ejercicios de alta intensidad (Jowko, 2015).

2.1.4.5 Rendimiento en HIITS

La falta de modificaciones en el intercambio gaseoso acompañado con el aumento del *VO₂max* (Volumen Máximo de Oxígeno) durante el entrenamiento de intervalos, promueve cambios adaptativos en la extracción del oxígeno contenido en el músculo (Zhang, 2019). Según la literatura se analiza que, en deportistas de alta intensidad, la modalidad de ejercicio por

intervalos es más efectiva en el desarrollo de la fuerza inspiratoria a nivel muscular en comparación con el de resistencia (Dunham, 2012).

Los atletas mejoran la capacidad glucolítica mediante la modalidad HIIT, pueden consecuentemente observar mejoras en el flujo sanguíneo (vía angiogénesis), presentar menor distancia de difusión dentro del tejido musculo esquelético, aumentar el reclutamiento de células motoras durante el ejercicio y mejorar la velocidad de conducción en las fibras musculares (Clifford, 2016).

2.1.4.6 Niveles de lactato ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)

Las concentraciones de lactato en sangre se encuentran relacionadas al nivel de ácido que aumenta dependiendo de las condiciones a las cuales es sometido el organismo. Los deportes de alta intensidad conducen a la formación de lactato e iones de hidrógeno lo cual produce acidosis en la parte interna de la célula (Lühker, 2017).

El analizador Lactate ProTM 2 (Arkray Factory Inc., KDK Corporation, Shiga, Japón) es un instrumento que se utiliza para determinar las concentraciones de lactato en sangre (Bonaventura, 2015). El procedimiento requiere una muestra de sangre para realizar el análisis (Garnacho, 2020). El Lactate ProTM 2 ofrece mayor exactitud en los resultados y por esto es una de las mejores opciones (Bonaventura, 2015).

La acumulación de lactato e iones de hidrógeno sucede debido al proceso de glucólisis intracelular (Lindinger, 1995). La acidosis metabólica producida por ejercicios de alta intensidad preserva el incremento de la disfunción muscular al inhibir la actividad mitocondrial (Stickland, 2013). Cuando aumenta la acidosis, los mecanismos fisiológicos que permiten la

eliminación del ácido láctico se basan en un aumento de la frecuencia ventilatoria para desechar el VCO₂ acumulado (Garnacho, 2020).

2.1.4.7 Óxido nítrico en plasma (μM)

La metodología utilizada normalmente para evaluar los niveles de NO en plasma consiste en la extracción de muestras de sangre de la vena ante cubital con un tubo Vacutainer con EDTA de 10 ml, después se centrifuga a $2500 \times g$ durante 15 min y finalmente se almacena a $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Es necesario medir previamente las concentraciones de NO₃⁻ y NO₂⁻ en plasma. El NO₃⁻ se transforma en nitrito utilizando una enzima llamada NO₃⁻ reductasa y la totalidad de NO₂⁻ se mide mediante la reacción de Griess utilizando un kit de ensayo colorimétrico (Cayman Chemical) y los valores se expresan como NO x μM de plasma (Serra, 2021).

2.1.4.8 Eficiencia ventilatoria

En los deportes de alta intensidad la evaluación de la eficiencia ventilatoria resulta esencial para el mantenimiento adecuado de la ventilación y el proceso de perfusión que ocurre en los pulmones (Brown, 2013). Durante la práctica de ejercicio mejorar el funcionamiento entre VE y el VCO₂ es primordial para mantener el balance del pH y la hipoxia (Romer, 2008). La VE se mide determinando la pendiente de la relación lineal entre VE y VCO₂ (Brown, 2013). La tasa de aumento del consumo de oxígeno (VO₂) se obtiene en respuesta a la VE durante el ejercicio, refleja la eficiencia de la inhalación y exhalación de oxígeno en el cuerpo (Gavotto, 2020).

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

El enfoque de la investigación es de tipo cualitativa porque se basa en una revisión sistemática de la literatura disponible en diferentes bases de datos virtuales para comprender a profundidad el efecto que produce el consumo de óxido nítrico y el mecanismo de acción que permite potenciar el rendimiento físico en deportistas. Además, se utiliza la metodología PRISMA que contiene una serie de ítems para el desarrollo de una estructura completa sobre la literatura científica que se incluye en el proyecto.

La metodología empleada se centra en la búsqueda de artículos científicos con criterios específicos de inclusión y el posterior análisis de los hallazgos relevantes. La población objetivo de la investigación son aquellos individuos que realizan deportes de alta intensidad y buscan estrategias nutricionales para mejorar su rendimiento de manera natural y segura.

3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Es un estudio descriptivo que corresponde a una revisión sistemática de artículos científicos para selección de datos relacionados con el tema central de la investigación. Específicamente, se realiza una búsqueda exhaustiva en diversas bases de datos virtuales y se aplican criterios de inclusión/exclusión en los estudios con suficiente respaldo.

La información se analiza para determinar los principales hallazgos en la investigación. Por lo tanto, se trata de un estudio no experimental, descriptivo y exploratorio, cuyo objetivo es sintetizar la información disponible.

3.3 UNIDADES DE ANÁLISIS U OBJETOS DE ESTUDIO

En el presente segmento se indican las unidades de análisis que corresponden a la población, muestra y la aplicación de los criterios de inclusión/exclusión en los diferentes estudios que se encuentran en las bases de datos virtuales e investigan el efecto del óxido nítrico sintético o en suplementos naturales como el jugo de remolacha para disminuir la fatiga e incrementar el rendimiento físico en sujetos que practican diferentes deportes de alta intensidad.

3.3.1 Área de estudio

La presente investigación incluye información de estudios que se realizan en diferentes países y áreas geográficas del mundo. Algunos de estos corresponden a Estados Unidos, Japón, Rusia, España y Latinoamérica. Se considera relevante aquellos lugares en los cuales se realizan juegos olímpicos, ya que, son eventos donde reúnen individuos con las características de la población en estudio.

3.3.2 Fuentes de información

Los requisitos de las fuentes primarias que se incluyen en el estudio se especifican en el apartado de los criterios de inclusión/exclusión para la selección de aquellas con información específica de calidad y suficiente respaldo que contribuya al análisis de los resultados.

El estudio consiste en una búsqueda de literatura científica en bases de datos virtuales como: PubMed, ScienceDirect, MDPI y Google Scholar en los idiomas inglés y español. Las fuentes terciarias correspondientes a las referencias de los artículos científicos más relevantes en relación con el tema en estudio.

La selección de los artículos se realiza en base a las variables disponibles en los títulos. Se utilizan como fuentes secundarias tesis, revisiones sistemáticas, metanálisis y algunos libros que están disponibles en plataformas virtuales.

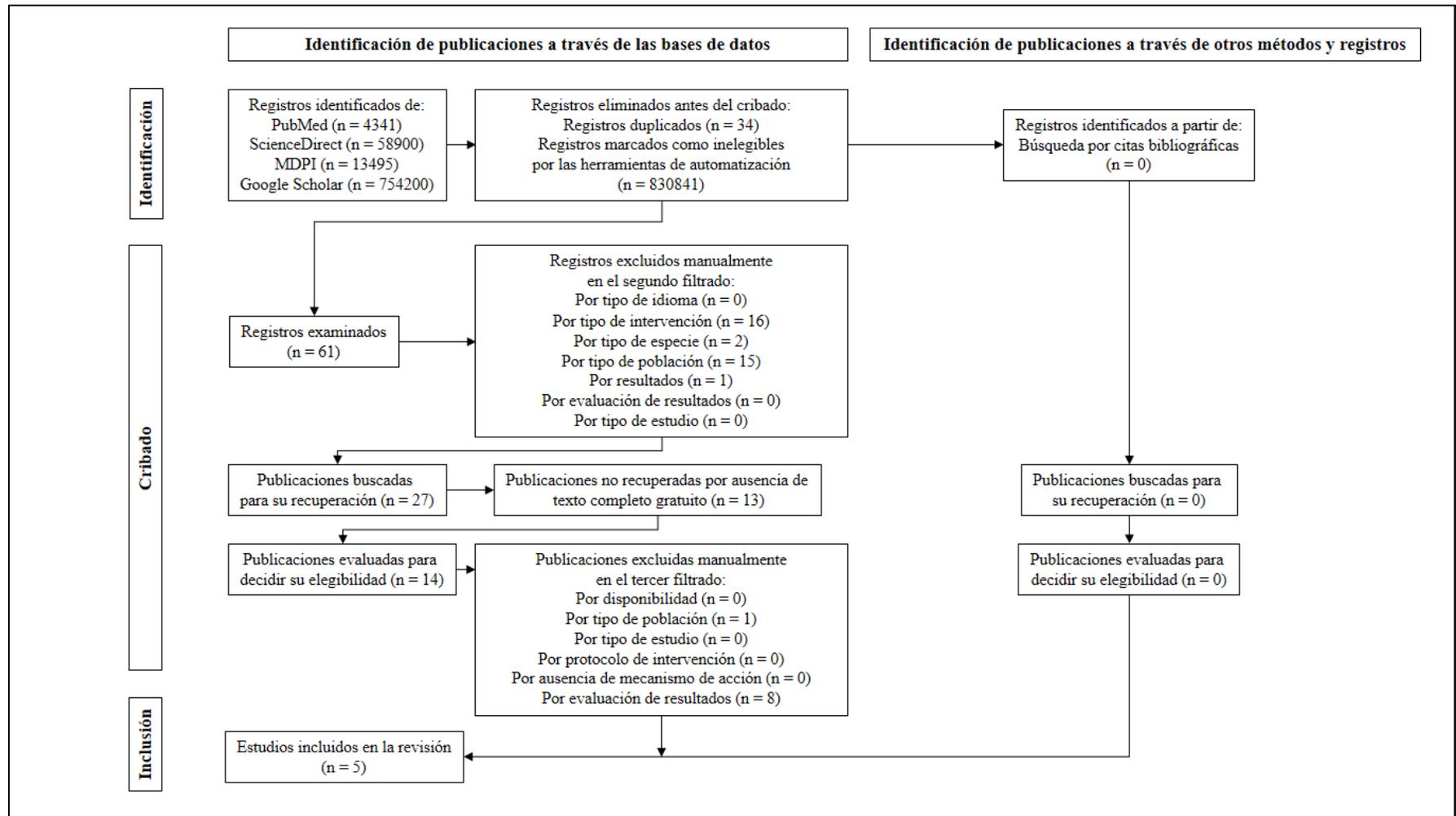
3.3.3 Población

La población objetivo de este estudio corresponde a individuos que realizan diferentes deportes categorizados de alta intensidad como: ciclismo, atletismo, fútbol, rugby, tenis, natación, entrenamiento en intervalos y son participantes de las investigaciones experimentales que documentan los resultados cumpliendo los parámetros específicos del protocolo de intervención.

3.3.4 Muestra

La muestra del estudio se compone de 65 sujetos que participan en los 5 artículos científicos seleccionados a partir de la búsqueda en las bases de datos y cumplen con los criterios de inclusión establecidos para responder a las variables correspondientes.

ilustración 1. Diagrama de flujo PRISMA para la recolección de los datos incluidos



Fuente: Elaboración propia, 2023.

3.3.5 Criterios de inclusión y exclusión

Se utiliza el método PICO (Participants, Interventions, Comparators and Outcomes) para elaborar los criterios de inclusión y exclusión. Este modelo sirve para estructurar una pregunta clínica de manera específica y así realizar la búsqueda bibliográfica de las citas más relevantes. PICO también ayuda a reducir el tiempo en la recolección de los documentos relacionados con el tema, lo que garantiza una revisión sistemática de calidad (Eriksen, 2018). La aplicación de este modelo se resume en la *tabla 2* que se muestra a continuación.

Tabla 2. Representación del modelo PICO

#	Modelo	Aplicación
1	Participantes	Atletas que practican diferentes deportes de alta intensidad.
2	Intervención	Protocolos utilizados en los experimentos de los artículos científicos investigados: uso crónico o agudo, suplemento de óxido nítrico sintético o jugo de remolacha, cantidad utilizada, método de consumo (enjuague bucal, lavado de dientes, neutralizado, pastillas, líquido).
3	Comparación	Comparar los diferentes protocolos investigados.
4	Resultados	Determinar cuál de los distintos protocolos es más efectivo y las razones correspondientes.

Fuente: Elaboración propia, 2023.

En la *tabla 3*, se presentan los criterios de inclusión y exclusión con la finalidad de evaluar la calidad y certeza de la información recolectada para la elaboración de una investigación completa con fundamentos teóricos.

Tabla 3. Criterios de inclusión y exclusión

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
<p>Artículos científicos provenientes de bases de datos como: PubMed, MDPI, Science Direct y el buscador Google Scholar.</p>	<p>Artículos científicos con contenido no disponible al ingresar a la base de datos.</p> <p>Artículos científicos duplicados.</p>
<p>Estudios publicados entre las fechas 2018 – 2023.</p>	<p>Estudios realizados en animales.</p>
<p>Artículos en los idiomas inglés y español.</p>	<p>Estudios aplicados de manera individual y sin comparación colectiva.</p>
<p>Estudios con individuos que practican diferentes deportes de alta intensidad de cualquier edad, género y país/región.</p>	<p>Investigaciones en las cuales la población solamente practique deportes de alta intensidad de manera esporádica y no frecuente.</p>
<p>Investigaciones realizadas en individuos que utilizaron óxido nítrico como estrategia de suplementación, ya sea de manera sintética o natural (jugo de remolacha).</p>	<p>Artículos científicos que no midan de manera objetiva el efecto de la suplementación con óxido nítrico mediante indicadores del perfil sanguíneo y pruebas físicas.</p>
<p>Estudios que utilizan un protocolo de intervención definido para evaluar el efecto del óxido nítrico (uso crónico o agudo, cantidad utilizada, método de consumo).</p>	<p>Estudios que no reportan el mecanismo de acción del óxido nítrico sobre la resistencia a la fatiga.</p>
<p>Artículos de investigación científica y tecnológica en su estado original, artículos de revisión, informes y ensayos clínicos: explicativos, secuenciales (causa/efecto o efecto/causa), controlados aleatorizados, aleatorizados cruzados, aleatorizados por</p>	<p>Artículos de divulgación científica, revisiones sistemáticas, bibliográficas o de literatura, meta-análisis, tesis, libros, meta análisis, guías prácticas clínicas, cartas científicas, estudios observacionales, protocolos de ensayos clínicos, editoriales.</p>

conglomerados, controlados no aleatorizados y no controlados. Reportes y estudios de casos.

Fuente: Elaboración propia, 2023.

En la actualidad existe diversidad de información al alcance de todos, por esto es indispensable utilizar los sitios adecuados para la obtención de los datos. Respecto a los criterios de inclusión se considera importante la elección de bases de datos con un nivel de confiabilidad elevado como lo son PubMed la cual es de acceso libre y brinda artículos científicos que publica la Librería Nacional de Medicina (National Library of Medicine) en Estados Unidos.

ScienceDirect, es una base de datos que brinda a disposición fuentes que lideran investigaciones científicas, técnicas, médicas y uno de los subsidiarios de Elsevier, la editorial científica más grande del mundo (Industrial Engineering and Operation Research, 2020). Por último, se utiliza MDPI y el buscador Google Scholar porque provee una amplia variedad de artículos científicos y la opción de elegir diferentes filtros.

Los estudios deben tener un rango en las fechas de publicación entre 2018 – 2023 para la inclusión de información actualizada en los cuales utilizan otras metodologías a diferencia de los más actuales donde la tecnología evoluciona y así comparar los resultados para cumplir cada objetivo del modelo PICO que se muestra en la *tabla 1*.

Los idiomas son elegidos siguiendo el orden que se muestra a continuación:

- Inglés: según las especificaciones del tema hay mayor amplitud en investigaciones alrededor del mundo y publicadas en dicho idioma.

- Español: es el lenguaje nativo, por lo tanto, se facilita el proceso de comprensión de la información y contempla aquellos estudios en países donde hablan este lenguaje.

La presente investigación se realiza con la población específica del *punto 3.3.3*, por esto se incluyen aquellos estudios que cumplan con los requisitos que se mencionan sin distinción de edad, género, país/región y tipo de deporte de alta intensidad. Además, se incluyen estudios con individuos que utilizan el óxido nítrico, ya sea sintético o natural (jugo de remolacha) como estrategia de suplementación porque el objetivo en este estudio es demostrar el efecto que produce su ingesta, por lo tanto, es fundamental que se cumpla con dicho criterio.

En la evaluación de los resultados con el *punto 4* del modelo PICO, es necesario incluir los artículos científicos que se realizan mediante diferentes protocolos de intervención y así analizar cuál de estos produce mayor o menor efecto sobre el rendimiento físico de los individuos.

Se excluyen todos los estudios que se realizan en animales, aplicados de manera individual y en sujetos que no realicen ejercicio de alta intensidad de manera frecuente, esto debido a que se desea evaluar la eficacia y desempeño tras el consumo de NO en los entrenamientos. Los artículos en los cuales los resultados no se justifican de manera objetiva mediante indicadores que evidencian el efecto que se produce después de la suplementación, también quedan excluidos. Finalmente, los estudios sin un protocolo de intervención definido y aplicado de principio a fin, no se incluyen en la investigación porque es necesario que se aplique un mismo método que permita la obtención de los datos iniciales y los resultados posterior a la intervención.

3.4 INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Se utiliza Excel para la elaboración del instrumento que facilita el proceso de selección de los artículos científicos considerando los criterios establecidos. Excel es un software que aumenta la productividad mediante la sistematización de procesos, lo que permite disminuir el tiempo requerido para realizar tareas como la contabilidad de los artículos y la exclusión de los duplicados, además disminuye la posibilidad de errores por la precisión que brindan los cálculos automáticos (Cruz, 2021).

Se utilizan varios filtros para segmentar los artículos científicos y la información que estos contienen. El primer filtrado consiste en la utilización de filtros automáticos como abstract, palabras clave, acceso libre al contenido y algunos de estos son propios y específicos de las bases de datos en las que se extraen los datos como: PubMed, ScienceDirect, MDPI y Google Scholar.

El cuestionario del segundo filtro está compuesto por 7 preguntas seleccionadas de acuerdo con los criterios establecidos con el objetivo de recolectar los estudios que se incluyen en la investigación, tales como: idioma, tipo de intervención, tipo de especie, tipo de población, resultados, evaluación de resultados y tipo de estudio. Estos se describen a profundidad en la *tabla 3*, correspondiente a las especificaciones de inclusión/exclusión.

En el cuestionario del tercer filtrado se incluyen 6 ítems de los cuales se pretende incluir aquellos que resulten positivos en: disponibilidad, tipo de población, tipo de estudio, protocolo de intervención y evaluación de resultados. Se incluye una pregunta que consiste en la ausencia del mecanismo de acción, de los cuales se excluyen a los que den positivo, es decir, es la única opción de la que se espera un resultado negativo para poder incluirla en el presente proyecto.

El cuarto filtro y la extracción de datos del instrumento se encuentran directamente relacionados con la operacionalización de las variables. Por esto, se considera cada variable con la respectiva especificación relacionada a las dimensiones e indicadores que permiten la obtención de información segmentada y así extraer los datos que realmente se necesitan para identificar y disminuir el riesgo de sesgo.

Se utiliza la herramienta Zotero para la importación de referencias bibliográficas contenidas en los resultados que se obtienen mediante la búsqueda de la literatura científica. Zotero tiene la capacidad de detectar el texto en los artículos, guardar la información de referencia en los archivos de la computadora y ayuda a mantener organizada la información en carpetas (Kaye, 2021).

3.5 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Se presenta una investigación no experimental y transversal debido a que no hay manipulación de ninguna variable y se recolectan datos en un único momento (febrero - septiembre 2023). Se realiza una revisión sistemática de la literatura científica para examinar el efecto del consumo óxido nítrico derivado del jugo de remolacha y los componentes relacionados con el rendimiento físico en sujetos que realizan deportes de alta intensidad.

Se emplean diferentes bases de datos virtuales y se filtran de acuerdo con criterios específicos de inclusión para seleccionar los estudios pertinentes. En este diseño de investigación, la validez y confiabilidad del cuestionario no son aplicables.

3.5.1 Palabras clave

Las palabras clave de la investigación permiten segmentar la información para realizar una búsqueda más precisa y acorde al tema de la revisión sistemática. Estas palabras son las que más se repiten debido a que conforman la estructura central para el desarrollo del presente estudio y las características específicas permiten filtrar los conceptos de interés a aquellos que no concuerdan con los datos establecidos. En la tabla 4 se sintetizan las palabras clave utilizadas.

Tabla 4. Palabras clave utilizadas

Palabras clave en inglés	Palabras clave en español
“Nitric oxide” AND “High intensity” AND “Sports”	“Óxido nítrico” AND “Alta intensidad” AND “Deportes”
“Nitric oxide” AND “High intensity” AND “Athletes”	“Óxido nítrico” AND “Alta intensidad” AND “Atletas”
“Nitric oxide” AND “Mechanism” AND “Sports”	“Óxido nítrico” AND “Mecanismo” AND “Deportes”
“Nitric oxide” AND “Synthetic” OR “Beetroot juice”	“Óxido nítrico” AND “Sintético” OR “Jugo de remolacha”

Fuente: Elaboración propia.

3.6 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Tabla 5. Operacionalización de las variables

Objetivo específico	Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	Instrumento
Indicar las características sociodemográficas de los individuos que realizan diferentes deportes de alta intensidad y consumen óxido nítrico para el incremento del rendimiento físico.	Características sociodemográficas	Las variables de origen social y demográfico describen las características del comportamiento de una población y son determinantes directos sobre la tasa de crecimiento (Tejada, 2012).	Indicadores sociodemográficos de la población sujeta a estudio reportados por las investigaciones incluidas.	Edad Género Tipo de deporte de alta intensidad Ubicación geográfica	Años Femenino, masculino Rendimiento País/región	Base de datos de excel.
Identificar el protocolo de intervención utilizado para la evaluación de la eficacia del óxido nítrico presente en suplementos sintéticos sobre el jugo de remolacha y su impacto sobre la resistencia a la fatiga.	Protocolo de intervención	Se define como la acción en el área clínica enfocada en modificar uno o más factores de los individuos para analizar los efectos o resultados y se puede realizar de manera individual o grupal (Zurita, 2018).	Cambios que se obtienen a partir de la aplicación de los distintos protocolos en los participantes de las investigaciones incluidas.	Uso crónico o agudo Suplemento de NO sintético o jugo de remolacha Cantidad utilizada Tiempo pre-ingesta Variables que influyen sobre el efecto	Horas/días/semanas Mg/ml Mg/ml Minutos/ horas Cambio (↑ o ↓) %	Base de datos de excel.

Distinguir el mecanismo de acción del óxido nítrico contenido en el jugo de remolacha sobre la disminución de la fatiga en sujetos que practican deportes de alta intensidad.	Mecanismo de acción	de Consiste en el proceso necesario para lograr un efecto en el organismo al ingerir una sustancia o medicamento (NCI, 2022).	Mecanismo de acción del óxido nítrico contenido en el jugo de remolacha sobre el organismo reportado en los artículos científicos incluidos.	Velocidad de oxidación	de	Segundos/ minutos	Base de datos de excel.
				Umbral de activación	de	Segundos/ minutos	
				Síntesis de ATP		Segundos/ minutos	
				Aparición de la fatiga		Segundos/ minutos	
				Glucógeno muscular y PH		Cambio (↑ o ↓) %	
Relacionar los efectos ergogénicos que brinda el óxido nítrico sobre el rendimiento físico durante su aplicación en deportes de alta intensidad.	Efectos ergogénicos	Son mejoras en el rendimiento físico al consumir una sustancia, especialmente en sujetos que practican deportes (Ibáñez, 2017).	Mejoras físicas producto de la ingesta de óxido nítrico reportadas en los artículos científicos incluidos.	Potencia		Cambio (↑ o ↓) %	Base de datos de excel.
				Duración en los sprints		Segundos/ minutos	
				Rendimiento en HIITS		Cambio (↑ o ↓) %	
				Niveles de lactato		mmol/L (↑ o ↓) %	
						μm (↑ o ↓)	
						VO2max (↑ o ↓)	

Óxido nítrico en
plasma

Eficiencia
ventilatoria

Fuente: Elaboración propia, 2023.

3.7 PLAN PILOTO

Se elabora una prueba que permite evaluar el instrumento diseñado con la finalidad de recolectar la información y mediante su aplicación también se pueden validar las palabras claves para analizar si es necesario un ajuste que promueva mejoras en la búsqueda de los artículos científicos. Según las especificaciones del tema y las variables se pretende incluir un mínimo de tres artículos científicos con los filtros respectivos aplicados. El plan piloto se realiza entre el 12 y 20 de agosto del 2023.

Se aplica la prueba piloto para evaluar el diseño de la metodología empleada en la investigación e incluye procesos como la selección de los estudios, métodos aplicados en la recolección de datos y los resultados obtenidos a partir de la búsqueda inicial, ya que, posteriormente se pueden realizar los cambios necesarios (Amezcuca, 2015). A continuación, se muestran las modificaciones realizadas con el objetivo de lograr precisión en los resultados de la búsqueda.

La prueba se realiza en PubMed, primero se insertan en el buscador las palabras clave que se encuentran en la *tabla 3*, junto con los respectivos booleanos “AND” y “OR”, luego se aplican los filtros automáticos propios de la plataforma, tales como: abstract, texto completo disponible, ensayos clínicos aleatorios controlados, 5 años de antigüedad, inglés y español.

Se obtienen 23 artículos científicos resultantes de los filtros automáticos aplicados para seguir con el proceso de examinación y así observar cuales de estos resultan duplicados, por lo tanto, 7 artículos son descartados por este motivo y los que quedan pasan al segundo filtrado manual para realizar una evaluación sobre el cumplimiento de las preguntas del cuestionario.

Se decide en la segunda pregunta relacionada al tipo de intervención sobre el efecto que produce el óxido nítrico y se agrega “o el jugo de remolacha”, ya que, existen artículos científicos asociados a los beneficios que produce el consumo de este suplemento natural y de igual manera es fuente de NO, por ende, se sigue el sentido de estudiar cómo este compuesto mejora el rendimiento físico.

En el proceso de búsqueda de las investigaciones se modifican las palabras clave correspondientes a: “Nitric oxide” AND “Action mechanism” y se añade AND “Sports”. Este cambio se realiza porque con las dos palabras iniciales no se logran resultados sobre el mecanismo de acción del óxido nítrico específicamente en el deporte. Los resultados del primer cuestionario indican que 2 artículos científicos cumplen con las 7 preguntas del cuestionario de anexo 5. Después de su revisión pasan al cuestionario del tercer filtro y se obtiene que ambos estudios cumplen con las 6 preguntas que se muestran en el anexo 6.

3.8 REVISIÓN SISTEMÁTICA

Se utiliza la directriz que ofrece el método PRISMA para realizar el presente proyecto, ya que, permite la organización de la información más relevante, resumida en los ítems de verificación de los cuales se encuentra conformada incrementando de esta manera la transparencia en el proceso y la calidad de la investigación (Yañéz, 2023). Respecto a la estructura del estudio, se siguen las especificaciones de la guía para tesis que ofrece la Universidad Hispanoamericana y así cumplir con el protocolo asignado.

La primera sección de la investigación se encuentra conformada por los puntos iniciales 1 y 2 de PRISMA correspondientes al título y el resumen (abstract), consecuentemente prosiguen los puntos 3 (justificación y antecedentes) y 4 (objetivos) que forman parte del capítulo I. Los

objetivos que se encuentran en el apartado 1.3, se desarrollan en base a la metodología de PICO (Participants, Interventions, Comparators and Outcomes) para asegurar una secuencia congruente en la búsqueda de los datos. Además, los criterios de inclusión y exclusión (punto 3.3.5) se realizan siguiendo este modelo, lo cual permite mantener el documento en una misma línea de investigación.

En el capítulo II se encuentra el contexto teórico – conceptual que consiste en el desarrollo y explicación de las variables de la revisión junto con sus respectivos indicadores. Los puntos 7, 8 y 9 de la lista corresponden a los procedimientos necesarios para la recolección correcta de los datos, así como las bases de datos utilizadas en la elección de los artículos científicos y estos forman parte del capítulo III en el presente proyecto.

3.8.1 Estrategia de búsqueda

El proceso de selección de los estudios y la respectiva extracción de las bases de datos según los requerimientos de los filtros diseñados, se realizan en un periodo de 10 días comprendidos entre el 10 – 20 de agosto del 2023. Se identifica que algunos artículos científicos que pasaron los primeros 2 filtros están incluidos en el marco teórico de la revisión sistemática, sin embargo, no cumplen con los criterios para ser incluidos en los resultados.

Se muestra a continuación mediante tablas en las cuales se detallan la fecha, la ecuación de búsqueda (palabras clave) y los filtros automáticos que se utilizan para el estudio y recolección de los artículos científicos. Es relevante mencionar que en la columna de “terminología de búsqueda” se modifican algunas palabras claves durante el proceso para lograr mayor asertividad en los datos que se desean obtener. Este paso se detalla en la sección 3.7 que corresponde al plan piloto.

Tabla 6. Estrategia de búsqueda en la base de datos de PubMed

Fecha	Terminología completa de búsqueda	Límites
10/8/2023	((("nitric oxide"[MeSH Terms] OR ("nitric"[All Fields] AND "oxide"[All Fields]) OR "nitric oxide"[All Fields]) AND ("high"[All Fields] AND ("intense"[All Fields] OR "intensely"[All Fields] OR "intensities"[All Fields] OR "intensity"[All Fields] OR "intensively"[All Fields])) AND ("sport s"[All Fields] OR "sports"[MeSH Terms] OR "sports"[All Fields] OR "sport"[All Fields] OR "sporting"[All Fields])) AND ((ffrft[Filter]) AND (fha[Filter]) AND (clinicaltrial[Filter] OR randomizedcontrolledtrial[Filter]) AND (english[Filter] OR spanish[Filter]) AND (2018:2023[pdat]))	Ninguno
10/8/2023	((("nitric oxide"[MeSH Terms] OR ("nitric"[All Fields] AND "oxide"[All Fields]) OR "nitric oxide"[All Fields]) AND ("high"[All Fields] AND ("intense"[All Fields] OR "intensely"[All Fields] OR "intensities"[All Fields] OR "intensity"[All Fields] OR "intensively"[All Fields])) AND ("athlete s"[All Fields] OR "athletes"[MeSH Terms] OR "athletes"[All Fields] OR "athlete"[All Fields] OR "athletically"[All Fields] OR "athlets"[All Fields] OR "sports"[MeSH Terms] OR "sports"[All Fields] OR "athletic"[All Fields] OR "athletics"[All Fields])) AND ((ffrft[Filter]) AND (fha[Filter]) AND (clinicaltrial[Filter] OR randomizedcontrolledtrial[Filter]) AND (english[Filter] OR spanish[Filter]) AND (2018:2023[pdat]))	Ninguno
10/8/2023	((("nitric oxide"[MeSH Terms] OR ("nitric"[All Fields] AND "oxide"[All Fields]) OR "nitric oxide"[All Fields]) AND ("mechanism"[All Fields] OR "mechanisms"[All Fields]) AND ("sport s"[All Fields] OR "sports"[MeSH Terms] OR "sports"[All Fields] OR "sport"[All Fields] OR "sporting"[All Fields])) AND ((ffrft[Filter]) AND (fha[Filter]) AND (clinicaltrial[Filter] OR randomizedcontrolledtrial[Filter]) AND (english[Filter] OR spanish[Filter]) AND (2018:2023[pdat]))	Ninguno
10/8/2023	((("nitric oxide"[MeSH Terms] OR ("nitric"[All Fields] AND "oxide"[All Fields]) OR "nitric oxide"[All Fields]) AND ("synthetic"[All Fields] OR "synthetically"[All Fields] OR "synthetics"[All Fields] OR "synthesize"[All Fields] OR "synthesized"[All Fields] OR "synthetizing"[All Fields])) OR (("beetroot"[All Fields] OR "beetroots"[All Fields]) AND ("juice"[All Fields] OR "juice s"[All Fields] OR "juiced"[All Fields] OR "juices"[All Fields] OR "juicing"[All Fields])) AND ((ffrft[Filter]) AND (fha[Filter]) AND (clinicaltrial[Filter] OR randomizedcontrolledtrial[Filter]) AND (english[Filter] OR spanish[Filter]) AND (2018:2023[pdat]))	Ninguno

Fuente: Elaboración propia, 2023

En la tabla 7 se muestra la estrategia de búsqueda en la base de datos de ScienceDirect donde se indican todos los filtros utilizados para encontrar los artículos científicos según los criterios de inclusión y exclusión. Además, se presenta la estructura de la recolección de los datos.

Tabla 7. Estrategia de búsqueda en la base de datos de ScienceDirect

Fecha	Terminología completa de búsqueda	Límites
10/8/2023	“Nitric oxide” AND “High intensity” AND “Sports”	Title, abstract, keywords, 2018-2023 Research articles, Case reports.
10/8/2023	“Nitric oxide” AND “High intensity” AND “Athletes”	Title, abstract, keywords, 2018-2023 Research articles, Case reports.
10/8/2023	“Nitric oxide” AND “Mechanism” AND “Sports”	Title, abstract, keywords, 2018-2023 Research articles, Case reports.
10/8/2023	“Nitric oxide” AND “Synthetic” OR “Beetroot juice”	Title, abstract, keywords, 2018-2023 Research articles, Case reports.

Fuente: Elaboración propia, 2023.

La tabla 8 indica la estrategia de búsqueda en la base de datos de MDPI, en la primera columna se muestra la fecha de búsqueda, la segunda la terminología y en la tercera los límites que corresponden a los filtros utilizados para la búsqueda de los artículos científicos según los criterios de la investigación.

Tabla 8. Estrategia de búsqueda en la base de datos de MDPI

Fecha	Terminología completa de búsqueda	Límites
10/8/2023	“Nitric oxide” AND “High intensity” AND “Sports”	Title, abstract, keywords, 2018-2023, Public Health & Healthcare, Sports, Articles.
10/8/2023	“Nitric oxide” AND “High intensity” AND “Athletes”	Title, abstract, keywords, 2018-2023, Public Health & Healthcare, Sports, Articles.
10/8/2023	“Nitric oxide” AND “Mechanism” AND “Sports”	Title, abstract, keywords, 2018-2023, Public Health & Healthcare, Sports, Articles.
10/8/2023	“Nitric oxide” AND “Synthetic” OR “Beetroot juice”	Title, abstract, keywords, 2018-2023, Public Health & Healthcare, Sports, Articles.

Fuente. Elaboración propia, 2023.

A continuación, se muestra la estrategia de búsqueda en Google Scholar que cuenta con la menor cantidad de filtros automáticos disponibles en comparación con las otras bases de datos elegidas, por esto se realiza una filtración manual por selección de los títulos mostrados de acuerdo a las especificaciones.

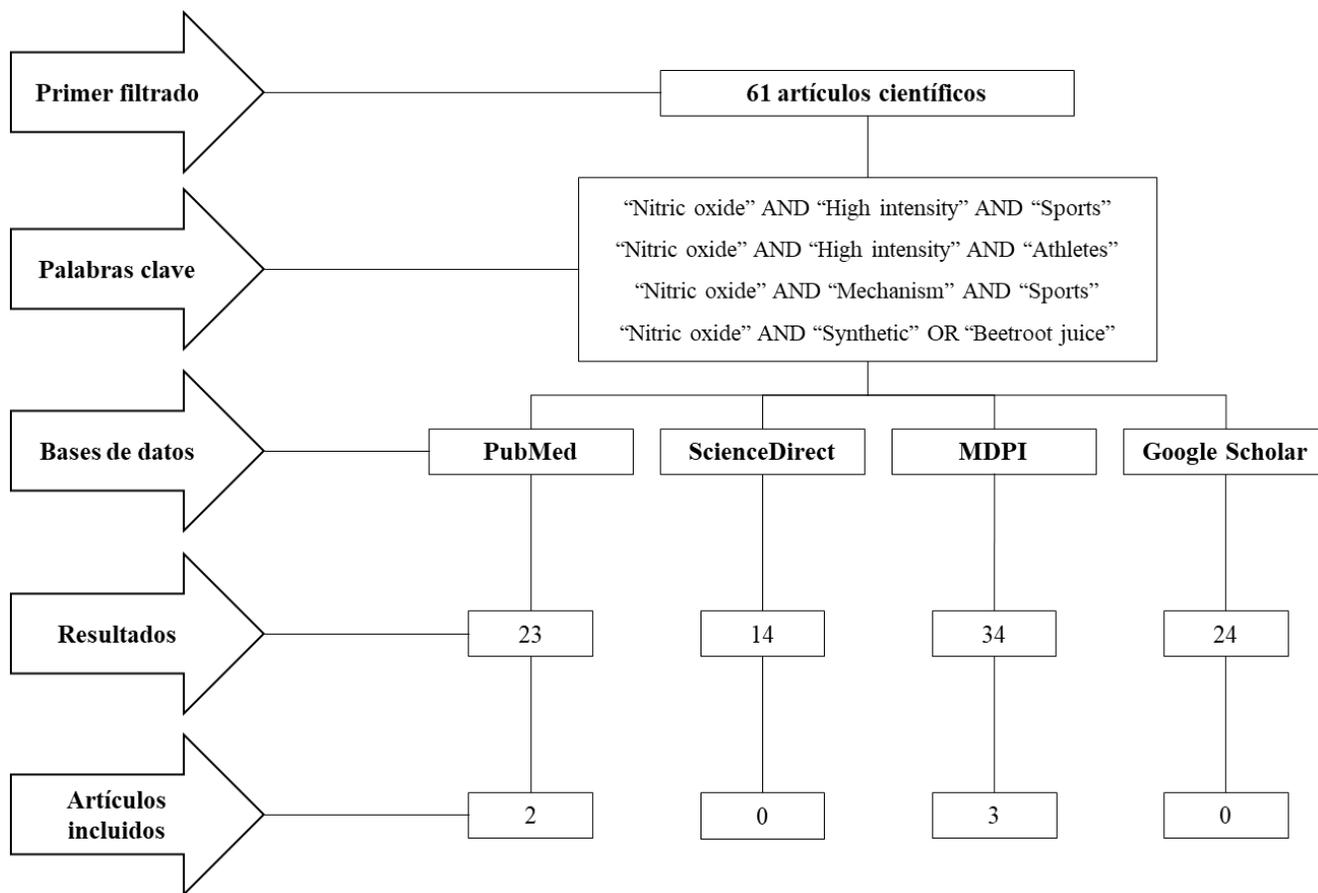
Tabla 9. Estrategia de búsqueda en la base del buscador Google Scholar

Fecha	Terminología completa de búsqueda	Límites
10/8/2023	“Nitric oxide” AND “High intensity” AND “Sports”	Title, 2018-2023, Articles.
10/8/2023	“Nitric oxide” AND “High intensity” AND “Athletes”	Title, 2018-2023, Articles.
10/8/2023	“Nitric oxide” AND “Mechanism” AND “Sports”	Title, 2018-2023, Articles.
10/8/2023	“Nitric oxide” AND “Synthetic” OR “Beetroot juice”	Title, 2018-2023, Articles.

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Se sintetizan en la *ilustración 2*, los resultados obtenidos utilizando las estrategias de búsqueda con los respectivos procedimientos de filtrado que permiten la recolección de los artículos científicos a partir de las bases de datos seleccionadas y los mismos se incluyen en la revisión sistemática.

Ilustración 2. Resultados del procedimiento de filtrado en la búsqueda de los artículos científicos



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Se presentan los resultados en primera instancia según la aplicación de los criterios específicos que permiten la obtención de los datos del primer filtrado, además se utiliza como herramienta inicial los filtros automáticos que tienen a disposición las bases de datos, los cuales son una guía para segmentar los artículos científicos. Las palabras clave seleccionadas permiten detallar de acuerdo a los temas de interés para su inclusión en la investigación y son esenciales en el proceso de búsqueda, sin embargo, cada base de datos tiene diferentes estrategias en la recolección de la información deseada.

La base de datos PubMed ofrece una variedad de filtros automáticos como la fecha de publicación (2018 - 2023), la disponibilidad del texto (abstract, versión completa), tipo de artículo (criterios de inclusión – exclusión) e idioma (inglés, español). De acuerdo con las características del tema del proyecto, así se ajustan y aplican respectivamente los filtros.

ScienceDirect posee una metodología de búsqueda diferente debido a que tiene otros instrumentos para la filtración de datos aparte de los que se mencionan en el párrafo anterior, estos corresponden a secciones donde se considera el título de publicación del proyecto, así como otras sub-áreas y en este caso se utilizan límites con la finalidad de mejorar la precisión de los resultados, un ejemplo consiste en la selección de aquellos artículos científicos que exclusivamente contengan las palabras clave en el título, abstract o propias del mismo estudio.

En MDPI se filtran los artículos por título, abstract, palabras clave, fecha de publicación (2018-2023), tipo de artículo y aparte se utilizan otros segmentos útiles como: “Public Health & Healthcare” y “Sports” con el objetivo de conseguir únicamente datos relacionados a la intención del tema de la investigación. Referente al buscador Google Scholar se utilizan límites para obtener aquellos artículos científicos en el intervalo de fecha de antigüedad establecido en los criterios (5 años) y también los que incluyan las palabras clave en el título.

Es relevante mencionar que en los resultados de todas las bases de datos se aplica un filtrado manual por título para descartar los artículos científicos que, a pesar de cumplir con las indicaciones del filtrado, no tienen afinidad con el tema u objetivo de la presente revisión sistemática. Se realiza este paso con la intención de ajustar la cantidad de artículos según la calidad de información que ofrecen versus la que se pretende obtener. Se muestran en la siguiente tabla los resultados de la fase inicial de filtrado.

Tabla 60. Resultados por palabras claves del primer filtrado en las bases de datos utilizadas

Palabras clave	PubMed	ScienceDirect	MDPI	Google Scholar
“Nitric oxide” AND “High intensity” AND “Sports”	8	5	3	8
“Nitric oxide” AND “High intensity” AND “Athletes”	6	3	3	8
“Nitric oxide” AND “Mechanism” AND “Sports”	9	4	14	1
“Nitric oxide” AND “Synthetic” OR “Beetroot juice”	0	2	14	7
Total de registros	23	14	34	24

Fuente: Elaboración propia, 2023.

3.8.2 Proceso de selección

La selección de los artículos científicos que se incluyen en la investigación es realizada por una sola persona y consiste en la aplicación de diferentes filtros automáticos propios de las bases de datos y manuales mediante cuestionarios que se especifican en el apartado 3.8 del presente documento y están basados según los criterios de inclusión y exclusión del punto 3.3.5.

El proceso de revisión manual del título y abstract de los 61 artículos se realiza mediante un análisis detallado de la información que contienen. Posteriormente se filtran utilizando los cuestionarios diseñados y los estudios que no cumplen con las características establecidas son excluidos, lo cual se detalla en el diagrama de PRISMA.

Se alcanza un total de 27 investigaciones en el segundo filtrado y solamente una de estas no tiene la disponibilidad del texto completo y, por lo tanto, no se puede recuperar. Se observa que esta es una especificación de la cual carecen varios de los estudios con potencial para formar parte del proyecto. En el tercer filtrado se evalúan 14 artículos científicos de acuerdo con las preguntas formuladas en este último cuestionario, el cual es específico para obtener los estudios que realmente cumplen con los requisitos y estos corresponden a un total de 5 artículos. A continuación, se muestra la distribución de los artículos seleccionados.

Tabla 11. Artículos según las palabras clave en las bases de datos con las citas bibliográficas seleccionadas

Bases de datos	Palabras clave	Total de estudios
PubMed	“Nitric oxide” AND “High intensity” AND “Sports”	1
	“Nitric oxide” AND “High intensity” AND “Athletes”	1
	“Nitric oxide” AND “Mechanism” AND “Sports”	1
	“Nitric oxide” AND “Synthetic” OR “Beetroot juice”	
ScienceDirect	-	-
MDPI	“Nitric oxide” AND “High intensity” AND “Sports”	2
	“Nitric oxide” AND “High intensity” AND “Athletes”	1
	“Nitric oxide” AND “Mechanism” AND “Sports”	1
	“Nitric oxide” AND “Synthetic” OR “Beetroot juice”	
Google Scholar	-	-
Artículos identificados según la búsqueda de citas bibliográficas	-	-
Total de estudios		5

Fuente: Elaboración propia, 2023.

3.8.3 Proceso de extracción de datos

El procedimiento de extracción de datos se realiza el 3 de septiembre del 2023 de forma manual y por una sola persona. Se recolectan los datos siguiendo como referencia la estructura de la sección 3.6 correspondiente a la operacionalización de las variables y considerando los respectivos indicadores. El análisis de los resultados de cada uno de los artículos científicos es esencial para recolectar los datos relacionados a las variables establecidas.

Las variables de los objetivos 3 y 4 que se describen en la sección 1.3, incluyen algunos valores que se encuentran en los resultados de los artículos con otras métricas, principalmente en el perfil sanguíneo, por lo tanto, se procede a realizar la conversión correspondiente para asegurar que la comparación de los mismos sea congruente en la evaluación de las diferencias identificadas.

3.8.4 Lista de los datos

La recolección de la información se encuentra alineada con las variables de la investigación que corresponden a las características sociodemográficas, protocolo de intervención, mecanismo de acción y efectos ergogénicos, lo cual se especifica en la sección 3.6 del documento. Se incluyen en la investigación únicamente aquellos artículos científicos que cumplen con las dimensiones e indicadores establecidos para realizar una comparación completa sobre los resultados que presentan.

Las diferentes variables se explican en el capítulo II, así como las dimensiones seleccionadas y se definen de acuerdo con la amplitud que se abarca para profundizar y brindar claridad sobre los datos a evaluar o comparar. Las características sociodemográficas incluyen especificaciones

sobre la población en estudio, tales como la edad, género, tipo de deporte de alta intensidad y ubicación geográfica.

El protocolo de intervención considera las condiciones y características bajo las cuales se realiza el experimento; por ejemplo, si el uso crónico o agudo, la utilización de un suplemento de NO sintético o jugo de remolacha, la cantidad utilizada, el tiempo pre-ingesta y las variables que influyen sobre el efecto (control de lavado de dientes, control enjuague bucal). Se establecen estas dimensiones porque brindan mayor detalle sobre las particularidades que afectan los resultados en los estudios.

El mecanismo de acción es una variable indispensable para comprender el funcionamiento en el organismo al consumir NO (NCI, 2022). Las dimensiones se relacionan a las consecuencias fisiológicas y la manera mediante la cual se obtienen los efectos o aquellos factores influyentes como el metabolismo del NO y su efecto biológico, la síntesis de ATP (segundos/minutos), el tiempo de aparición de fatiga y su relación con el glucógeno muscular – PH.

Los efectos ergogénicos producen mejoras en el rendimiento físico y la salud al consumir una sustancia, especialmente en sujetos que practican deportes (Ibáñez, 2017). Por esto, es relevante evaluar el rendimiento en la potencia, HIITS, eficiencia ventilatoria relacionada a la capacidad de inhalación y exhalación de oxígeno. Otros indicadores importantes son aquellos que miden los efectos a nivel sanguíneo como las variaciones sobre los niveles de lactato ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) y NO en plasma ($\text{NO} \times \mu\text{M}$).

Los datos del perfil sanguíneo que brindan algunos de los artículos científicos utilizan otras unidades de medida respecto a las establecidas y en estos casos, se utiliza un convertidor automático que se obtiene a través del buscador de Google y brinda un nivel de precisión elevado

porque el procedimiento del cálculo lo realiza un software especializado y así se obtienen resultados con indicadores congruentes a las especificaciones, lo cual asegura un estándar de comparación.

3.8.5 Evaluación del riesgo de sesgo

Se realiza un cuestionario con la finalidad de evaluar el riesgo de sesgo para asegurar la calidad metodológica de los estudios, ya que, las fuentes primarias son un potencial eje de errores y por esto al momento de sintetizar los resultados es necesario controlar cada paso del procedimiento. El cuestionario es aplicado por una persona y se basa en el método de Cochrane que adopta el enfoque GRADE (Grading of Recommendations Assessment, Development and Assessment) para evaluar la calidad de la evidencia (Higgins, 2023). Las evaluaciones GRADE incluyen 5 dominios correspondientes a: riesgo de sesgo, inconsistencia, falta de direccionalidad, imprecisión y sesgo de publicación.

Los resultados de la evaluación se obtienen utilizando los intervalos de confianza al 95% (rango normal) y las estimaciones puntuales tienen diferentes interpretaciones según la duración y variabilidad de los efectos obtenidos en los estudios. Los efectos fijos y su respectivo intervalo de confianza se comparan con la estimación de efectos aleatorios para saber la mejor estimación del efecto promedio. Es importante evaluar la presencia de heterogeneidad en los resultados de los artículos científicos porque produce la formulación de conclusiones generales.

3.8.6 Métodos de síntesis

Las diversas etapas de filtrado permiten la obtención de artículos científicos con las características que se estudian y de esta manera evaluar si se encuentran alineadas con el

objetivo de la investigación. En el primer filtrado se realizan varios procesos, inicialmente se aplican los filtros automáticos que tienen a disposición las bases de datos y luego antes de pasar al segundo filtro se realiza una selección por título y abstract, donde se procede a leer cada uno de los estudios con el objetivo de analizar si realmente cumplen con las variables que se proponen en la presente investigación.

En la segunda etapa de filtrado los artículos seleccionados deben responder a cada una de las preguntas que se exponen en el cuestionario, si fallan una opción se descartan inmediatamente. Los resultados que pasan el tercer filtro se incluyen en la revisión sistemática porque cumplen con todos los requisitos, por lo tanto, sigue el procedimiento de extracción de datos para sintetizar la información que se estudia.

En la primera columna de la hoja se encuentra el número, seguido por el nombre artículo, luego se detallan los autores, el año de publicación, tipo de investigación, el tamaño de la muestra, la edad, género, tipo de deporte que practican y el país donde se realiza el estudio. En la columna 8 se exponen las dimensiones relacionadas al protocolo de intervención para evaluar la duración, la fuente de NO (sintética o jugo de remolacha), dosis, el tiempo pre-ingesta y aquellos factores que influyen sobre el efecto o indicaciones que debe cumplir la población en estudio para disminuir el riesgo de sesgo durante las pruebas.

La columna número 9 se subdivide en dimensiones como la velocidad de oxidación del NO y umbral de activación, además es importante recolectar los datos de tiempo de síntesis del ATP, glucógeno, recuperación y fatiga. Los indicadores de estos elementos se miden en segundos y minutos generalmente debido a la naturaleza de los conceptos que se investigan y por esta razón se incluyen en el estudio.

La variable sobre los efectos ergogénicos que produce el consumo de NO se evalúa mediante indicadores como potencia, duración en los sprints, rendimiento en los HIITS, niveles de lactato, NO en plasma y eficiencia respiratoria. Estos conforman la mayoría de los factores que miden los estudios en los cuales la muestra se somete a pruebas físicas para posteriormente evaluar los efectos de la suplementación.

Se realiza un ajuste asociado a la pregunta del segundo cuestionario correspondiente al tercer filtro, que solicita la evaluación de los resultados mediante valores del perfil sanguíneo como es el nivel de lactato y NO en plasma. Esto debido a que se considera relevante la búsqueda de objetividad en los datos recolectados y así realizar una comparación más precisa entre los artículos seleccionados, ya que, si hay datos incompletos se dificulta el proceso de extracción de los datos.

CAPÍTULO IV

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1 RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

Se presentan en esta sección los resultados asociados a las variables con sus dimensiones e indicadores. Se muestra la información de manera organizada mediante tablas que incluyen las características principales de los artículos científicos que cumplen con los criterios de inclusión – exclusión, así como las especificaciones de cada estudio y una síntesis de los efectos observados. Se examinan 95 estudios y de estos se seleccionan 5 para formar parte de la investigación.

4.1.1 Características principales de los artículos científicos

Las investigaciones incluidas en la presente revisión sistemática se publican entre los años 2018 – 2023 en el idioma inglés. De los estudios seleccionados 2 provienen de PubMed y los otros 3 de mediante la plataforma MDPI, por ende, las bases de datos elegidas son recursos que proporcionan los datos de manera efectiva. Los artículos son de tipo cruzado aleatorio (1), aleatorios (1) y aleatorios doble ciego

La sumatoria de la muestra total de los estudios corresponde a 65 participantes (60 M y 5 F) que se distribuyen por países de la siguiente forma: España (38 individuos), Inglaterra (13 individuos), Estados Unidos y Holanda (14). El enriquecimiento cultural de la diversidad de países beneficia las observaciones desde diferentes perspectivas de acuerdo con la ubicación geográfica.

Tabla 12. Estudios incluidos

Autor (año)	Título	Tipo de estudio	Muestra
Cuenca et al. (2018)	Effects of Beetroot Juice Supplementation on Performance and Fatigue in a 30-s All-Out Sprint Exercise: A Randomized, Double- Blind Cross -Over Study. Nutrients.	CADC	15
Wylie et al. (2019)	Human skeletal muscle nitrate store: influence of dietary nitrate supplementation and exercise.	EA	13
Serra et al. (2021)	The Relationship between Resistance Exercise Performance and Ventilatory Efficiency after Beetroot Juice Intake in Well-Trained Athletes.	ADC	11
Tan et al. (2022)	Effects of Dietary Nitrate Supplementation on Performance and Muscle Oxygenation during Resistance Exercise in Men.	ADC	14
Ranchal et al. (2020)	Acute Effects of Beetroot Juice Supplements on Resistance Training: A Randomized Double-Blind Crossover.	ADC	12

Fuente: Elaboración propia, 2023. Abreviaciones: CAD (Cruzado Aleatorio Doble Ciego), EA (Estudio Aleatorio), ADC (Aleatorio Doble Ciego).

4.1.2 Artículos científicos incluidos en la investigación

Se muestran a continuación en diferentes tablas los datos recolectados y organizados según las variables de manera detallada para observar los resultados obtenidos en cada intervención, considerando las especificaciones de cada estudio y la metodología de suplementación empleada.

Se presentan de manera secuencial para facilitar la observación de las variaciones relacionadas a las características sociodemográficas, el protocolo de intervención, el mecanismo de acción y los efectos ergogénicos sobre el rendimiento físico que se evidencian en las investigaciones incluidas.

Se realiza una síntesis de la información en las siguientes tablas de acuerdo con los criterios que deben cumplir los participantes para colaborar en los estudios, se analizan con mayor detalle las características del protocolo utilizado, la distinción del mecanismo de acción y la relación que existe entre el efecto ergogénico identificado y los resultados del rendimiento físico que se presentan en cada uno de los artículos científicos.

4.1.2.1 Características sociodemográficas

En la tabla 13, se muestran las características sociodemográficas de los participantes que forman parte de la muestra de los artículos científicos que se incluyen en la investigación, así mismo es esencial mencionar que se extraen los datos más relevantes como la edad, género, deporte y país.

Tabla 13. Características sociodemográficas

Autor	Características sociodemográficas	
Cuenca et al. (2018)	Edad	22.4 ± 1.6 a.
	Género	Masculino (15)
	Deporte	Resistencia
	País	España
Wylie et al. (2019)	Edad	22.4 ± 1.6 a. 22 ± 5 a.
	Género	Masculino (8) - Femenino (5)
	Deporte	Recreativo
	País	Inglaterra
Serra et al. (2021)	Edad	29.2 ± 3.7 a.
	Género	Masculino (13)
	Deporte	Resistencia
	País	España
Tan et al. (2022)	Edad	22 ± 5 a.
	Género	Masculino (14)
	Deporte	Recreativo
	País	E.U. y Holanda
Ranchal et al. (2020)	Edad	20 – 28 a.
	Género	Masculino (12)
	Deporte	Resistencia
	País	España

Fuente: Elaboración propia, 2023. Abreviaciones: a. (años).

De acuerdo con los datos de la tabla 13, se observa que el rango de edad promedio de los sujetos que participan en los estudios es de 20 a 33 años, por lo tanto, es una población adulta joven que debe cumplir con ciertos criterios específicos como practicar diferentes deportes de alta

intensidad a nivel competitivo o recreativo, tener una excelente condición física, consumir una dieta saludable y cumplir con un protocolo especial antes de comenzar el experimento.

El género que predomina es el masculino en todos los estudios, sin embargo, en el de Wylie et al. (2019) se incluyen a 5 participantes femeninas. Además, se muestra que la mayoría de los estudios se realizan en España.

4.1.2.2 Protocolo de intervención

La tabla 14 indica especificaciones sobre las intervenciones que se realizan en cada uno de los estudios y donde también se encuentran los indicadores seleccionados para la evaluación de los métodos empleados.

Tabla 14. Protocolo de intervención

Autor	Protocolo de intervención	
Cuenca et al. (2018)	Duración	8 días
	Fuente de NO	JR
	Dosis	70 ml (6.4 mmol NO ₃)
	Tiempo pre-ingesta	3 horas
	Influyentes sobre el efecto	24 h antes evitar cepillarse los dientes o usar un enjuague antiséptico oral. Dieta baja en nitratos 1 día antes.
Wylie et al. (2019)	Duración	1 día
	Fuente de NO	JR con NO (12.8 mmol NO ₃)
	Dosis	140 ml
	Tiempo pre-ingesta	2 horas
	Influyentes sobre el efecto	Dieta baja en nitratos 1 día antes.
Serra et al. (2021)	Duración	30 días
	Fuente de NO	JR
	Dosis	140 ml (8.4 mmol NO ₃)
	Tiempo pre-ingesta	3 horas
	Influyentes sobre el efecto	24 h antes evitar cepillarse los dientes o usar un enjuague antiséptico oral. Dieta baja en nitratos 1 día antes.
Tan et al. (2022)	Duración	4 días
	Fuente de NO	JR
	Dosis	70 ml (5.9 mmol NO ₃)
	Tiempo pre-ingesta	2.30 horas
	Influyentes sobre el efecto	24 h antes de cada prueba los sujetos deben evitar cepillarse los dientes o usar un enjuague antiséptico oral. Dieta baja en nitratos 1 día antes.

	Duración	7 días
	Fuente de NO	JR
	Dosis	70 ml (6.4 mmol NO ₃)
Ranchal et al. (2020)	Tiempo pre-ingesta	2:30 horas
	Influyentes sobre el efecto	24 h antes de cada prueba los sujetos deben evitar cepillarse los dientes o usar un enjuague antiséptico oral. Dieta baja en nitratos 1 día antes.

Fuente: Elaboración propia, 2023. Abreviaciones: a. (años), NO (formula química del óxido nítrico), JR (jugo de remolacha), PL (placebo).

El protocolo de intervención ejecutado en el estudio de Cuenca (2018), donde los individuos consumen una dosis de 70 ml (6,4 mmol NO₃⁻) con 3 horas pre-ingesta posterior al ayuno nocturno, también se deben cumplir ciertas instrucciones como evitar la ingesta de suplementos deportivos 3 meses antes de participar en el experimento y no realizar ejercicio 72 h previas a la evaluación. El 50% de los sujetos ingieren el producto placebo y el otro 50% la bebida que contiene exclusivamente JR.

En el diseño experimental de Wylie (2019) los sujetos deben asistir en dos ocasiones separadas para completar las pruebas, ya que, estas requieren una muestra de sangre antes y después de la intervención. En este caso se solicita a los participantes que no realicen ejercicios 24 horas antes y consumir una dieta baja en nitratos.

4.1.2.3 Mecanismo de acción

Se muestra en la tabla 15 el mecanismo de acción que se indica en cada artículo científico para observar los rasgos distintivos o similitudes que presentan e identificar el patrón que produce un efecto sobre el organismo y posteriormente en el desempeño físico.

Tabla 15. Mecanismo de acción

Autor	Mecanismo de acción	
Cuenca et al. (2018)	VO	30 min
	UA	30 s
	S.ATP	6 s
	TR	15 s
	TF	180 s
	GpH	↓15-30 s
Wylie et al. (2019)	VO	~6.5min
	UA	6 s
	S.ATP	60 s
	TR	10 s
	TF	~6-7 min
	GpH	389 ±110 s
Serra et al. (2021)	VO	60 s
	UA	90 s
	S.ATP	60 s
	TR	4 min
	TF	90 s
	GpH	–
Tan et al. (2022)	VO	2.6 ± 2.1 s
	UA	20 s
	S.ATP	58 ± 17 s
	TR	2 – 5 min
	TF	13 ± 5 s
	GpH	–
Ranchal et al. (2020)	VO	60 s
	UA	2 min
	S.ATP	60 s
	TR	60.03 s
	TF	1 – 15 s
	GpH	–

Fuente: Elaboración propia, 2023. Abreviaciones: NO (formula química del óxido nítrico), JR (jugo de remolacha), VO (velocidad de oxidación), UA (umbral de activación), S.ATP (síntesis de ATP), TR (tiempo de recuperación), TF (tiempo de fatiga), GpH (glucógeno y pH).

La información de la tabla anterior indica que la suplementación con NO produce mayor reclutamiento de las fibras tipo II y también se estudian los indicadores del perfil sanguíneo para evaluar la eficiencia a nivel endógeno, por otro lado, se analizan las variaciones neuromusculares relacionadas a la capacidad de producción de ATP posterior a la ingesta de JR.

4.1.2.4 Efectos ergogénicos

A continuación, se indica en la siguiente tabla la síntesis de la relación entre el efecto del consumo de JR y los indicadores que se evalúan en las pruebas físicas realizadas en cada uno de los estudios para analizar las variaciones en los resultados obtenidos.

Tabla 76. Efectos ergogénicos

#	Autor	Resultados	Intervención
1	Cuenca et al. (2018)	Potencia: $\uparrow \sim 4.0\%$ JR T. Sprints: 30 s R. HIITS: $\downarrow \sim 1.6$ s/30 s Lactato: Pre: 1.47 ± 0.35 mmol/L Post: 14.49 ± 3.27 mmol/L NO en plasma: 353 ± 150 μm EV: $>100\%$ VO ₂ max	Los participantes realizan un ayuno nocturno y 3 h antes de la primera prueba de salto CMJ, consumen la dosis o la misma bebida sin NO. Son 72 h entre sesiones y 0,5 h de diferencia.
2	Wylie et al. (2019)	Potencia: $\uparrow \sim 6.0\%$ T. Sprints: 30 s R. HIITS: $\uparrow V$ Lactato: 15.35 ± 2.60 mmol/L NO en plasma: 0.1082 ± 0.7317 μm EV: $>100\%$ VO ₂ max	Los sujetos ingieren la dosis de JR concentrado rico en NO o la dosis sin nitratos o PL (0,04 mmol). Desayunan 72 g de hojuelas de avena con 180 ml de leche semidesnatada.
3	Serra et al. (2021)	Potencia: $\uparrow \sim 4.7\%$ JR T. Sprints: 150 s R. HIITS: $\uparrow 4.4\%$ Lactato: NR NO en plasma: 397.63 μm EV: $>97\%$ VO ₂ max	Los individuos escogen una botella al azar que contiene líquido color rojo con la dosis y una bebida PL disolviendo 2 g de JR en polvo ($\sim 0,01$ mmol), en un litro de agua mineral con jugo de limón.
4	Tan et al. (2022)	Potencia: $\uparrow \sim 5.0\%$ JR T. Sprints: 1.01 s R. HIITS: $\uparrow \sim 5.0\%$ Lactato: 11.0 ± 1.30 mmol/ NO en plasma: Pre: 428 ± 131 Post: 506 ± 159 μm EV: $>100\%$ VO ₂ max	Los participantes se someten a 2 condiciones para recibir JR (PL) escaso en NO y otro JR rico en NO durante 4 días con un período de lavado de mínimo 5 días que separa los 2 períodos de suplementación.
5	Ranchal et al. (2020)	Potencia: $\uparrow 2.61\%$ T. Sprints: 3 min R. HIITS: $\uparrow 2.0\%$ Lactato: NR NO en plasma: $\uparrow 468 \pm 145$ μm EV: $>100\%$ VO ₂ max	Los sujetos asisten a 3 visitas separadas entre sí por 72 h, para lograr la eliminación total de cualquier efecto provocado por el JR y asegurar la óptima recuperación.

Fuente: Elaboración propia, 2023. Abreviaciones: T. Sprints (tiempo de sprints), R. HIITS (recuperación en HIITS), EV (eficiencia ventilatoria), NR (no reporta), _ (valor se mantiene sin cambios significativos), VO2Max (volumen máximo de oxígeno), JR (jugo de remolacha), RPE (índice de esfuerzo percibido).

Se observa en la tabla 16 que la mayoría (4) de los estudios incluidos evidencian mejoras relacionadas al aumento del rendimiento sin afectar la fatiga muscular y la resistencia muscular por el incremento de NO a nivel sanguíneo, aumento del número de repeticiones y una combinación de estas últimas sin variaciones en el índice de esfuerzo percibido y los niveles de lactato.

4.1.3 Resultados principales

Los resultados indican que los participantes de los estudios practican deportes de manera frecuente, lo cual es esencial para concluir las pruebas físicas de evaluación. La muestra en los experimentos de Cuenca (2018), Serra (2021) y Ranchal (2020), realiza entrenamientos de resistencia y dicha característica se encuentra relacionada directamente con el tema de la presente investigación. Los sujetos que colaboran con Wylie (2019) y Tan (2022) practican deportes de manera recreativa enfocados en ejercicios de alta intensidad, por este motivo se incluyen. Además, el género predominante corresponde al masculino.

Se evidencia respecto al protocolo de intervención que los estudios de Wylie (2019) y Serra (2021) utilizan una dosis mayor (140 ml) en comparación con el resto (70 ml), sin embargo, con los resultados obtenidos y un rango diferencial del 50%, se observan cambios sobre el desempeño físico, es decir, a pesar de reducir la dosis de igual manera el NO contenido en el

jugo de remolacha produce efectos ergogénicos y el promedio del tiempo pre-ingesta considerando todos los artículos científicos es de 2 – 3 horas.

Las dimensiones del mecanismo de acción utilizado en cada uno de los experimentos indican que los valores correspondientes a la velocidad de oxidación (VO), el umbral de activación (UA) y la síntesis de ATP (S. ATP) están relacionados directamente con el tipo de prueba física que se realiza en la evaluación y la duración de la misma.

Se observa que la potencia (velocidad x fuerza) aumenta en todos los resultados de los estudios, lo cual se relaciona principalmente al mecanismo de acción empleado. El nivel más alto de lactato reportado es de 15,35 mmol y corresponde al estudio realizado por Wylie (2019) donde los sujetos ingieren la dosis de JR concentrado enriquecido con NO.

En la tabla 17 se muestran los principales resultados identificados en los artículos científicos, donde se evidencia que el promedio de edad de los participantes es de 22.4 ± 1.6 años y predomina el género masculino. Se utiliza una dosis entre 70 ml - 140 ml de jugo de remolacha en los experimentos y según las evaluaciones físicas existe un aumento de la potencia en la mayoría de los estudios.

Tabla 17. Relación de los resultados principales según las variables respectivas

Variables/Autor	D.	Cuenca et al. (2018)	Wylie et al. (2019)	Serra et al. (2021)	Tan et al. (2022)	Ranchal et al. (2020)	Resultados principales
Características sociodemográficas	Edad	22.4 ± 1.6 a.	22.4 ± 1.6 a.	29.2 ± 3.7 a.	22 ± 5 a.	20 – 28 a.	El promedio de edad en los estudios es de 22.4 ± 1.6 a. de género masculino.
	Género	Masculino (15)	Masculino (8) Femenino (5)	Masculino (13)	Masculino (14)	Masculino (12)	
	Deporte	Resistencia	Recreativo	Resistencia	Recreativo	Resistencia	
Protocolo de intervención	Duración	8 días	1 día	30 días	4 días	7 días	Los estudios mayores a 3 días cumplen un protocolo de uso crónico con un T. PI de 2 – 3 horas y de 100 ml JR.
	F. NO	JR	JR con NO	JR	JR	JR	
	Dosis	70 ml	140 ml	140 ml	70 ml	70 ml	
	T. PI	3 horas	2 horas	3 horas	2.30 horas	2:30 horas	
Mecanismo de acción	VO	30 min	~6.5min	60 s	2.6 ± 2.1 s	60 s	Se observan variaciones relacionadas a la cantidad de dosis consumida, tipo de pruebas y las técnicas de medición empleadas.
	UA	30 s	6 s	90 s	20 s	2 min	
	S.ATP	6 s	60 s	60 s	58 ± 17 s	60 s	
	TR	15 s	10 s	4 min	2 – 5 min	60.03 s	
	TF	180 s	~6-7 min	90 s	13 ± 5 s	1 – 15 s	
	GpH	↓15-30 s	389 ± 110 s	–	–	–	
Efectos ergogénicos	Potencia	↑ ~4.0%	↑ ~6.0%	↑ ~4.7% JR	↑ ~5.0% JR	↑ 2.61%	La dimensión en la que se evidencia mayor porcentaje de cambio es la potencia, la EV es similar en las pruebas y existe un incremento del NO en plasma en todos los estudios.
	T. Sprints	30 s	30 s	150 s	1.01 s	3 min	
	R. HIITS	↓ ~1.6 s/30 s	↑ V	↑ 4.4%	↑ ~5.0%	↑ 2.0%	
	Lactato	Pre: 1.47 ± 0.35 mmol/L Post: 14.49 ±	15.35 ± 2.60 mmol/L	NR 397.63 µm ↑ 97%	11.0 ± 1.30 mmol/ Pre: 428 ± 131 Post: 506 ± 159 µm	– ↑ 468 ± 145 µm >100% VO2max	
	NO en plasma	3.27 mmol/L 353 ± 150 µm >100%	0.1082 ± 0.7317 µm >100%	VO2max	VO2max >100%		
	EV	VO2max	VO2max		VO2max		

Fuente: Elaboración propia, 2023. Abreviaciones: a. (años), NO (formula química del óxido nítrico), JR (jugo de remolacha), VO (velocidad de oxidación), UA (umbral de activación), S.ATP (síntesis de ATP), TR (tiempo de recuperación), TF (tiempo de fatiga), GpH (glucógeno y pH), T. Sprints (tiempo de sprints), R. HIITS (recuperación en HIITS), EV (eficiencia ventilatoria), NR (no reporta), _ (valor se mantiene sin cambios significativos), VO2Max (volumen máximo de oxígeno), T. PI (tiempo pre-ingesta), F. (fuente), D. (dimensión).

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1 DISCUSIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Se presentan los resultados con su respectiva interpretación elaborada desde una perspectiva objetiva de los datos recolectados y asociada a un análisis comparativo de las principales características identificadas en cada uno de los artículos científicos de acuerdo a las variables en estudio. La información que se muestra a continuación está debidamente respaldada con evidencia científica.

5.1.1 Características sociodemográficas

El rango de edad menor que se observa en los artículos científicos es de 18 años, correspondiente al estudio de Tan (2022) y el mayor es de 33 años Serra (2021). Respecto a este indicador, en otro estudio desarrollado por Thompson (2018) donde se utiliza un rango de edad muy similar (18 – 32 años), se menciona que uno de los factores más importantes sobre el rendimiento de los atletas es la experiencia que ganan durante este lapso en el ámbito deportivo y el desarrollo de las habilidades físicas.

El género predominante en todos los estudios es el masculino, sumando un total de 60 hombres en comparación con 5 mujeres que se incluyen únicamente en el experimento de Wylie (2019). En el estudio de Bessos (2022), se indica que en su mayoría utilizan participantes masculinos por las ventajas fisiológicas como en el VO₂max, características del tejido muscular, biomecánica en los ejercicios (atletismo), utilización de sustratos, la fatiga neuromuscular y diferencias en la estructura anatómica, un ejemplo de esto es que las mujeres tienen la pelvis más ancha y el ángulo tibia - fémur más largo.

El estudio de Lepers (2019) en el que se evalúan las diferencias de género sobre el rendimiento en atletas de triatlón no élite, se muestran variaciones en el tiempo de natación (12%), ciclismo (15%) y atletismo (18%), ganando ventaja los competidores masculinos. Además, menciona la razón por la cual en la mayoría de los experimentos incluyen sujetos que tengan ciertos requisitos a nivel fisiológico y de composición corporal para que estos den el máximo desempeño y así asegurar métricas más exactas.

El tipo de deporte que practican los participantes de los experimentos correspondientes a Cuenca (2018), Serra (2021) y Ranchal (2020) es el de resistencia, Tan (2022) y Wylie (2019) recreativo. En el estudio de Jurado (2022) donde se investiga la variabilidad de ciertos indicadores en el entrenamiento de resistencia, se determina que los individuos requieren habilidades relacionadas a la fuerza muscular y la eficiencia de la oxigenación para lograr un buen desempeño, por esto, es un deporte ideal para medir y evaluar la capacidad física mediante la ejecución de diferentes ejercicios que ponen prueba el rendimiento.

La investigación de Santana (2019), estudia a sujetos que practican deportes de resistencia a nivel recreativo al igual que 2 de los estudios incluidos y se determina que con un programa de entrenamiento corto (10 km), el cual consiste en mantener una frecuencia de 2 veces por semana mínimo para realizar las pruebas físicas, así como en el estudio de Tan (2022) que solicita como requerimiento esta misma periodicidad. En los entrenamientos de resistencia a mayor escala, los individuos necesitan de 6 meses (Ranchal, 2020) como mínimo hasta 2 años (Serra, 2021) de experiencia deportiva y además deben entrenar 3 veces por semana.

El país donde se realizan 3 de los estudios elaborados por Cuenca (2018), Serra (2021) y Ranchal (2020) corresponde a España, al igual que la investigación de López (2020) sobre la ingesta de

jugo de remolacha para mejorar el rendimiento de atletas que practican tenis a nivel competitivo, se indica que en este país la facultad de ciencias de la salud en las diferentes universidades de las principales ciudades, tienen suficientes recursos y avances tecnológicos para servir de portal en nuevas líneas experimentales y descubrimientos en el área de la salud.

5.1.2 Protocolo de intervención

El protocolo que ejecuta Wylie (2019) es el más corto de todos, ya que, este dura 1 día y cuando un experimento se realiza en un periodo menor a 3 días es catalogado como agudo según los estudios que realiza Burke (2018), de hecho, en los resultados es el único que tiene esta característica respecto a su duración. Las exposiciones de Cuenca (2018), Serra (2021), Tan (2022) y Ranchal (2020) duran entre 4 – 30 días respectivamente, lo cual corresponden a un uso crónico.

En el estudio de Santana (2019) se aplica una intervención de 30 días al igual que Serra (2021), en el que se indica que un estudio más prolongado permite ampliar la profundidad de investigación y los resultados que se presentan, debido a que el organismo puede tener diferentes variaciones al largo del plazo en la investigación. Además, reitera la importancia de aplicar diversos tipos de pruebas física para evaluar variedad de indicadores. Aunque Thompson (2018) indica en su estudio que la ingesta aguda de JR produce resultados fisiológicos superiores en comparación con la muestra placebo o combinada con NO₃⁻.

La fuente de NO en los estudios de Cuenca (2018), Serra (2021), Tan (2022) y Ranchal (2020) corresponde exclusivamente a jugo de remolacha sin adición de ningún compuesto sintético. Wylie (2019) enriquece el jugo de remolacha con NO₃⁻ sumando un total de 12.8 mmol NO₃⁻ al igual que el protocolo realizado por Coggan (2018), el propósito de esta modificación se

centra en aumentar el contenido de nitratos en la bebida para evaluar el efecto que este cambio produce sobre los resultados finales.

El estudio de Thompson (2018) y Vanhatalo (2018) realizado con 30 individuos, evidencia según una comparación entre el grupo que ingiere jugo de remolacha y otro suplemento sintético de NO₃- durante 4 semanas, el primer grupo presenta mejores resultados en las pruebas físicas, sin embargo, en el experimento de Wylie (2019) se realiza una combinación entre ambos métodos, los cuales se describen en el punto 5.1.4 para analizar los efectos obtenidos mediante la aplicación de esta estrategia nutricional.

Los estudios de Cuenca (2018), Tan (2022) y Ranchal (2020) utilizan una dosis menor correspondiente a 70 ml de jugo de remolacha al igual que la investigación de Jurado (2022) y Thompson (2018) donde se utiliza la misma dosis, se indica que es una cantidad suficiente para generar variaciones en el organismo porque de igual manera se produce de manera natural y uno de los objetivos principales es potenciar la producción endógena de este.

Las intervenciones de Wylie (2019) y Serra (2021) utilizan una dosis de 140 ml JR, es decir, básicamente el doble de la dosis menor registrada. La dosis mayor aporta de acuerdo a los rangos obtenidos en los resultados de 8.4 mmol – 12.8 mmol, sin embargo, el estudio de Jones (2014) menciona que el rango de dosis normal en los experimentos de suplementación con este compuesto es de 5 – 9 mmol.

Se indica en el experimento de Tan (2022) que los participantes deben asistir 6 veces al laboratorio para realizar cada día un entrenamiento diferente a la misma hora, en el cual se evalúa el desempeño diario específicamente alineado a la técnica que requieren los ejercicios. En este estudio, la hora de consumo previo de alimentos fuente de nitrato y la instrucción de

limitar la actividad física se reduce a 24 h, así como evitar el enjuague bucal antibacteriano durante la duración del estudio porque interfiere con el metabolismo oral del NO.

El estudio elaborado por Ranchal (2020) requiere que los sujetos tengan 2 años de experiencia en entrenamiento de resistencia, sentadillas y press de banca. Es necesario que no consuman ningún tipo de suplementación o sustancia anabólica 3 meses antes de la intervención y para asegurar el cumplimiento de dichas características, se realiza una entrevista como instrumento para filtrar aquellos que si cumplen con los requerimientos establecidos.

El lapso de tiempo pre-ingesta que se observa en los estudios es de 2 – 3 horas, de igual manera en los estudios de Thompson (2018), Jurado (2022) y Coggan (2018), donde se indica que el rango promedio para consumir la dosis es de 1:30 – 3:00 horas para que los compuestos fenólicos junto con el NO contenido, sean aprovechados por el organismo

Los factores que influyen y se indican en relación a todos los artículos incluidos en la investigación sobre el efecto del NO, coinciden en la importancia de mantener una dieta baja en nitratos un día antes de la intervención como requisito básico para participar, así como el estudio de López (2020) en el que se instruyen a los sujetos para que eviten consumir alimentos fuente de nitrato 24 h – 48 h antes de la suplementación con jugo de remolacha para disminuir la probabilidad de errores en los resultados por una administración de NO₃⁻ adicional obtenida a través de la dieta y no en base a la suplementación.

La exposición elaborada por Serra (2021) incluye un control de ingesta (48 h) donde la dieta se distribuye de la siguiente manera: 60% de carbohidratos (5,5 g/kg), 25% de lípidos y 15% de proteínas. Además, al igual que los estudios anteriores se indica evitar la ingesta de alimentos

ricos en nitratos 72 h antes de las pruebas, masticar chicle, comer dulces, usar enjuague bucal o cepillarse los dientes (clorhexidina o xilitol) 24 h antes del estudio.

En los protocolos de intervención de Cuenca (2018), Serra (2021), Tan (2022) y Ranchal (2020) solicitan a los sujetos evitar cepillarse los dientes o usar un enjuague antiséptico oral 24 h previas a la ingesta de la dosis, los motivos de esta instrucción se explican detalladamente en la sección 2.1.2.6 del marco teórico en el presente proyecto. Sin embargo, en el estudio de López (2020) se menciona que es necesario realizar esta medida porque la formulación de los ingredientes que estos contienen pueden alterar la microbiota que hay en la boca y así interferir con la reducción de NO.

5.1.3 Mecanismo de acción

El estudio de Wylie (2019) se descubre que después de la suplementación y la presencia de un transportador activo de nitrato llamado sialina y la absorción activa el nitrato del torrente sanguíneo. Esto influye directamente sobre la velocidad de oxidación del NO que en este caso tarda ~6.5 min. De acuerdo con Burgos (2022) este tiempo se relaciona con la eficiencia en el metabolismo del NO, así como regulación de las adaptaciones a nivel mitocondrial, la homeostasis de la glucosa y el calcio.

En los experimentos de Serra (2021) y Ranchal (2020) se muestra el mismo tiempo relacionado a la velocidad de oxidación (60 s), ambos comparten los mismos resultados del estudio realizado por Flueck (2019) donde se utiliza el mismo protocolo de estandarización dietético, lo cual puede influir sobre el metabolismo del NO.

El umbral de activación en los estudios varía dentro del rango menor correspondiente a 6 segundos en el de Cuenca (2018) y mayor de 2 min Ranchal (2020). La variación de este tiempo según Thompson (2018), se relaciona con el tipo de exposición que afecta el mecanismo de acción, ya sea, si se obtiene de una fuente dietética natural o bajo condiciones de suplementación, da como resultado adaptaciones fisiológicas hasta llegar al máximo nivel para producir los efectos. Además, se analiza que la intensidad en las pruebas físicas al inicio es un factor que influye sobre la activación del compuesto.

La síntesis de ATP varía desde 6 segundos en el estudio de Cuenca (2018) hasta aproximadamente 60 segundos en el de Wylie (2019), Serra (2021) y Ranchal (2020). Respecto al rango menor, del mecanismo que se registra consiste en la despolarización de las fibras musculares tipo II y el aumento de las concentraciones de Ca^{2+} en el mioplasma, lo que facilita la contracción muscular. En el rango mayor se identifica que durante el ejercicio de resistencia aumenta la producción de energía (ATP) a través de vías metabólicas aeróbicas, retrasando la aparición de vías metabólicas anaeróbicas Serra (2021).

El estudio de Thompson (2018) indica que tras la suplementación con 70 ml de jugo de remolacha en individuos que practican deportes de equipo y/o de resistencia, se logra la reducción del costo de ATP y PCr en la producción de fuerza muscular, además de mejorar el manejo del Ca^{2+} en las fibras musculares tipo II, el mismo resultado se obtiene en el estudio realizado por Tan (2022) donde se identifica un tiempo de 58 ± 17 segundos en el proceso de síntesis y la muestra también ingiere la misma dosis (70 ml).

El tiempo de fatiga menor registrado es de 1 – 15 segundos de acuerdo con el experimento de Ranchal (2020) y el mayor es de 3 minutos correspondiente al de Cuenca (2018). En el estudio

de Wylie (2019) se identifica que, tras la ingesta de la dosis, se activa la absorción y posteriormente el nitrato ingresa a la circulación, lo cual disminuye la aparición de fatiga. Benjamín (2021) menciona que el extracto de remolacha acelera el retorno de la modulación parasimpática durante la recuperación después de un protocolo de resistencia en hombres adultos sanos.

El glucógeno y el pH son indicadores que presentan cambios significativos únicamente en los estudios de Cuenca (2018) y Wylie (2019), en el resto se mantienen o no presentan datos asociados. La variación en el tiempo de disminución en estos indicadores ronda desde 15 – 389 ±110 segundos en el presente estudio, sin embargo, en la intervención de Thompson (2018) donde se extrae el glucógeno de ~2 mg de músculo seco en 500 µl de HCL y el pH.

5.1.4 Efectos ergogénicos

El estudio de Tan (2022) muestra un mayor efecto ergogénico sobre la potencia (↑ ~5.0%), seguido por Serra (2021) con ↑ ~4.7% y en el experimento de Cuenca (2018) la suplementación produce mejoras sobre el rendimiento en las pruebas físicas relacionado a un aumento desde el pico hasta la primera mitad de la prueba, manteniendo estable la acumulación de fatiga muscular. Sin embargo, en el estudio de López (2020) los resultados indican que con una dosis de 70 ml de JR no se produce ninguna mejora sobre la potencia de tenistas élite.

Se analiza respecto al estudio de López (2020) que la ingestión aguda de una dosis 6.4 mmol NO₃⁻, no es suficiente para producir un aumento en el rendimiento físico de los atletas, aunque la evidencia aportada por Coggan (2018) muestra en los resultados un incremento de la velocidad y la potencia muscular, tanto en hombres como mujeres saludables después de realizar una evaluación de extensión de rodilla a alta velocidad (360 °). Esta es una prueba que requiere

reclutamiento de las fibras musculares tipo II para generar una combinación entre la fuerza y potencia.

Es relevante mencionar que la dosis de NO₃⁻ suministrada a los participantes tiene una variación proporcional de 4.8 mmol, ya que, en el estudio de López (2020) es de 6.4 mmol en comparación con 11.2 mmol en el experimento de Coggan (2018). En relación con estos resultados se analiza que la dosis puede ser muy baja para producir mejoras sobre la potencia muscular, sin embargo, Cuenca (2018) indica que la ingesta de JR en pequeñas dosis (70 ml de JR (6.4 mmol)) no produce mejoras significativas sobre la altura del salto, por lo tanto, se puede considerar la ejecución de las mismas pruebas con una dosis más elevada.

El tiempo en los sprints de los artículos incluidos se encuentra en un rango de 3 minutos (Ranchal, 2020) hasta 1.01 segundos (Tan, 2022), aunque esta variable puede cambiar dependiendo de la intensidad de la prueba física, condición de los sujetos en estudio, el periodo total de la evaluación y magnitud de la dosis proporcionada. Los resultados en el estudio de Ranchal (2020) indican que se produce un aumento sobre el rendimiento de la resistencia muscular en los entrenamientos, incrementando las repeticiones totales realizadas con el mismo RPE (Índice de Esfuerzo Percibido) y sin cambios en los niveles de lactato en sangre.

Cuenca (2018) indica que la suplementación produce un efecto ergogénico en la prueba Wingate máxima de 30 s en relación con un aumento desde el máximo esfuerzo hasta el tiempo medio durante la primera mitad del sprint, sin aumentar la acumulación de fatiga muscular durante o después del sprint. De igual manera en el estudio de Jodra (2019) donde los participantes consumen 70 ml de JR o NO₃⁻, se reportan mejoras en el Wingate test que en este caso consiste

en realizar sprints de máximo de 30 segundos en la bicicleta con la resistencia sobre el volante ajustado al 7,5% de la masa corporal.

El rendimiento en los HIITS (High Intensity Interval Training) se asocia con el esfuerzo percibido por los individuos, ya que, tiene implicaciones importantes sobre el desempeño en el ejercicio, el flujo sanguíneo cerebral y la oxigenación (Shannon, 2017). De los estudios que se presentan en los resultados el de Tan (2022) indica un mayor rendimiento (5%) y este se registra posterior al consumo de JR, donde los sujetos aumentan el número de repeticiones completadas antes del fallo durante el press de banca, aunque no presentan cambios durante las sentadillas traseras.

En el experimento realizado por Jodra (2019) se evidencia que la ingestión aguda de JR mejora las habilidades de aceleración, velocidad y desarrollo máximo de la fuerza. Esta intervención obtiene resultados similares a los de Thompson (2018) donde se indica que la suplementación puede reducir la tensión fisiológica durante el ciclismo de intensidad severa debido a la reducción del costo de O₂ a una tasa de trabajo determinada siguiendo un nivel de intensidad elevado.

Flanagan (2016) realiza un estudio para evaluar el efecto de la suplementación utilizando nitratos a una baja y alta dosis, durante 3 días en 14 hombres con 21.1 ± 0.9 años. La comparación del rendimiento físico, la frecuencia cardiaca, la acumulación de lactato y el consumo de oxígeno, indica que la suplementación en mayor cantidad produce menores tasas de activación muscular en reposo. Además, se generan amplitudes de electromiografía máximas medias más altas con una dosis elevada y el hallazgo más sobresaliente de este estudio es que el consumo de oxígeno incrementa con mayor frecuencia.

El estudio de López (2020) realizado para investigar los beneficios del JR sobre el aumento del rendimiento físico en una muestra de 13 tenistas elite entre 25.4 ± 5.1 años. Los resultados del estudio no muestran diferencias relevantes en las pruebas SVT, CMJ, IHS y 5-0-5, por lo tanto, los investigadores sugieren el consumo de dosis mayores a 70 ml para aprovechar los efectos ergogénicos en atletas que practican tenis.

El nivel de lactato más alto registrado en los artículos incluidos corresponde al estudio elaborado por Wylie (2019), con un valor de 15.35 ± 2.60 mmol/L. Un experimento realizado por Santana (2019) demuestra que los niveles de lactato en sangre elevados se asocian con un deterioro del rendimiento en una evaluación contrarreloj de carrera (10 km) durante 4 semanas, sin embargo, en este caso la suplementación con nitrato no varía los niveles de lactato en sangre en comparación con el placebo en corredores bien entrenados, por esto, se concluye que suplementación con NO_3^- no produce cambios en los niveles de lactato.

En el estudio de Tan (2022) se registran los niveles de NO en plasma antes y después de realizar el protocolo de suplementación con un rango entre $428 \pm 131 - 506 \pm 159$ μm , donde claramente se incrementan los niveles en sangre, seguido por Serra (2021) que reporta un valor de 397.63 μm . Se muestra una singularidad relacionada a la dosis, ya que, el valor más alto es el resultado tras de ingesta de 70 ml de JR y el segundo corresponde a una dosis de 140 ml de JR. En este caso esta variable no se utiliza como punto de comparación, sin embargo, Tan (2022) combina ejercicios de pesas y resistencia.

La eficiencia ventilatoria en todos los estudios incluidos se evalúa al $>100\%$ VO_2max , a excepción de Serra (2021) que reporta $>97\%$ VO_2max , posiblemente por la inclusión de ejercicios anaeróbicos en las pruebas de evaluación. En la intervención de Flueck (2019), realiza

una prueba de 20 minutos a intensidad media se reporta 85% VO₂max, lo cual evidencia que la suplementación con NO₃⁻ en 14 atletas que practican ciclismo de mano es efectiva y se observa que los músculos de la parte superior del cuerpo tienen mayor reclutamiento de fibras musculares tipo II, al igual que el estudio realizado por Tan (2022).

Serra (2021) indica que el NO₃⁻ contribuye a un aumento en la vasodilatación pulmonar disminuyendo la vasoconstricción, específicamente durante el reposo y la eficiencia del intercambio de gases pulmonar mejora. Esto se relaciona con el estudio de Thompson (2018) que registra un incremento en el VO₂max tras la ingesta de 70 ml de JR.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

La presente revisión sistemática concluye que el NO contenido en el jugo de remolacha mejora el rendimiento físico de los individuos que practican deportes de alta intensidad aumentando el flujo sanguíneo y la producción de energía. A continuación, se muestran las respuestas obtenidas según cada objetivo planteado.

- El óxido nítrico derivado del jugo de remolacha disminuye la resistencia a la fatiga de acuerdo con los resultados que se muestran en la investigación, ya que, al aumentar el flujo sanguíneo incrementa la velocidad del transporte de oxígeno y nutrientes como la glucosa para ser utilizados de manera eficiente durante la práctica de deportes de alta intensidad.
- Las variables de las características sociodemográficas indican que la edad promedio de los sujetos de ambos géneros que participan en los estudios es de 20 – 33 años, por lo tanto, son adultos jóvenes que residen en diversos países y practican deportes de alta intensidad como atletismo, ciclismo, natación y entrenamientos de resistencia HIIT.
- El protocolo que se identifica en los estudios consiste en una intervención realizada mediante el uso crónico (4 – 30 días) de una dosis entre 70 ml – 140 ml de JR, en un tiempo pre-ingesta de 2 – 3 h y estableciendo indicaciones a los individuos respecto a las variables que influyen sobre el efecto, tales como evitar lavarse los dientes y enjuagues bucales mínimo 24 h antes de ingerir la dosis.
- El mecanismo de acción que se distingue consiste en el reclutamiento de las fibras musculares tipo II y el aumento de las concentraciones de Ca^{2+} retrasando la aparición de la fatiga. El NO tiene una velocidad de oxidación entre 1 – 5 min con un umbral de activación de 6 s – 5 min, síntesis de ATP entre 6 s – 1 min y un tiempo de aparición de

fatiga promedio de 1 min dependiendo de la evaluación física que se realice. No se evidencian variaciones significativas sobre el glucógeno y el pH en los estudios incluidos.

- Los efectos ergogénicos que produce el consumo de NO de acuerdo con la evidencia científica, se relacionan con mejoras en las habilidades físicas como la potencia, velocidad en los HIITS y la eficiencia respiratoria de los individuos que realizan deportes de alta intensidad, por lo tanto, es una alternativa de suplementación natural si se ejecutan los procedimientos de manera correcta para lograr resultados de manera efectiva.

6.2 RECOMENDACIONES

Se indican algunas sugerencias manteniendo una perspectiva objetiva y utilizando como eje las características principales de cada estudio para recalcar de manera asertiva algunos aspectos que se pueden mejorar según las variables en estudio.

- Realizar una búsqueda de estudios experimentales con participantes que posean un historial deportivo similar y que cumplan con ciertos requerimientos asociados a la condición física que permitan agilizar el proceso de evaluación y así brindar mayor objetividad en los resultados, ya que, es necesario que posean un nivel de acondicionamiento para participar en las pruebas físicas.
- Considerar los artículos científicos en los cuales se aplique un protocolo de intervención con una duración mínima de un mes para evaluar la efectividad tras la ingesta de JR en un periodo prolongado y de esta manera observar las variaciones en los diferentes días con una rutina de entrenamiento de resistencia definida.
- Profundizar el estudio de los factores que influyen sobre el mecanismo de acción del NO y la forma en la cual el organismo procesa los cambios que se producen, debido a que existen diversas funciones que el cuerpo realiza para lograr el incremento del rendimiento físico.
- Investigar los indicadores específicos que varían y la relación que existe entre el consumo de JR para lograr un efecto ergogénico sobre la resistencia a la fatiga e inclusive las mejoras a nivel neuromuscular según cada deporte de alta intensidad, ya que existen ciertas especificaciones dependiendo de las habilidades físicas que se requieren durante la práctica.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA TEÓRICA

- Albertos, P., Sanz, C., Mateos, I., Sánchez-Vicente, I., Lechón, T., Fernández-Espinosa, G., Rodríguez, D., & Lorenzo, Ó. (2016). Gasotransmission of nitric oxide (NO) at early plant developmental stages. En *Signaling and communication in plants* (pp. 95-116). https://doi.org/10.1007/978-3-319-40713-5_5
- Araki, S., Osuka, K., Takata, T., Tsuchiya, Y., & Watanabe, Y. (2020). Coordination between Calcium/Calmodulin-Dependent protein kinase II and neuronal nitric oxide synthase in neurons. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(21), 7997. <https://doi.org/10.3390/ijms21217997>
- Arciero, P. J., Miller, V., & Ward, E. (2015). Performance enhancing diets and the PRISE protocol to optimize athletic performance. *Journal of Nutrition and Metabolism*, 2015, 1-39. <https://doi.org/10.1155/2015/715859>
- Bäckryd, E. (2022). What do we mean by “mechanism” in pain medicine? *Scandinavian Journal of Pain*, 23(1), 1-2. <https://doi.org/10.1515/sjpain-2022-0062>
- Bailey, S. J., Fulford, J., Vanhatalo, A., Winyard, P. G., Blackwell, J. R., DiMenna, F. J., Wilkerson, D. P., Benjamin, N., & Jones, A. M. (2010). Dietary nitrate supplementation enhances muscle contractile efficiency during knee-extensor exercise in humans. *Journal of Applied Physiology*, 109(1), 135-148. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00046.2010>
- Bailey, S. J., Varnham, R. L., DiMenna, F. J., Breese, B. C., Wylie, L. J., & Jones, A. M. (2015). Inorganic nitrate supplementation improves muscle oxygenation, O₂uptake

- kinetics, and exercise tolerance at high but not low pedal rates. *Journal of Applied Physiology*, 118(11), 1396-1405. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01141.2014>
- Bailey, S. J., Winyard, P. G., Vanhatalo, A., Blackwell, J. R., DiMenna, F. J., Wilkerson, D. P., Tarr, J. M., Benjamin, N., & Jones, A. M. (2009). Dietary nitrate supplementation reduces the O₂cost of low-intensity exercise and enhances tolerance to high-intensity exercise in humans. *Journal of Applied Physiology*, 107(4), 1144-1155. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00722.2009>
- Baker, R. G., Hayden, M. S., & Ghosh, S. (2011). NF- κ B, inflammation, and metabolic disease. *Cell Metabolism*, 13(1), 11-22. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2010.12.008>
- Balady, G. J., Arena, R., Sietsema, K. E., Myers, J., Coke, L., Fletcher, G. F., Forman, D. E., Franklin, B. A., Guazzi, M., Gulati, M., Keteyian, S. J., Lavie, C. J., Macko, R. F., Mancini, D., & Milani, R. V. (2010). Clinician's guide to cardiopulmonary exercise testing in adults. *Circulation*, 122(2), 191-225. <https://doi.org/10.1161/cir.0b013e3181e52e69>
- Baltimore, A. (2013). Betaine MD. *University of Maryland Medical Center*. <https://hdl.handle.net/10953.1/3064>
- Barnett, A. (2006). Using recovery modalities between training sessions in elite athletes. *Sports Medicine*, 36(9), 781-796. <https://doi.org/10.2165/00007256-200636090-00005>
- Beard, A., Ashby, J., Chambers, R., Brocherie, F., & Millet, G. P. (2019). Repeated-Sprint training in hypoxia in international rugby union players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(6), 850-854. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0170>
- Benjamim, C. J. R., Júnior, F. W. S., De Figueiredo, M. Í. L. S., Benjamim, C. J. R., Cavalcante, T. C. F., Da Silva, A. A. M., Monteiro, L. R. L., Santana, M. D. R.,

- Garner, D. M., & Valenti, V. E. (2020). Beetroot (*Beta vulgaris L.*) extract acutely improves heart rate variability recovery following strength exercise: a randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Crossover Trial-Pilot study. *Journal of The American College of Nutrition*, *40*(4), 307-316.
<https://doi.org/10.1080/07315724.2020.1774441>
- Besson, T., Macchi, R., Rossi, J., Morio, C., Kunimasa, Y., Nicol, C., Vercruyssen, F., & Millet, G. Y. (2022). Sex differences in endurance running. *Sports Medicine*, *52*(6), 1235-1257. <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01651-w>
- Bian, K., Doursout, M., & Murad, F. (2008). Vascular system: Role of nitric oxide in cardiovascular diseases. *Journal of Clinical Hypertension*, *10*(4), 304-310.
<https://doi.org/10.1111/j.1751-7176.2008.06632.x>
- Bladowski, M., Gawryś, J., Gajewski, D., Szahidewicz-Krupska, E., Sawicz-Bladowska, A., & Doroszko, A. (2020). Role of the platelets and nitric oxide biotransformation in ischemic Stroke: A translative review from bench to bedside. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, *2020*, 1-18. <https://doi.org/10.1155/2020/2979260>
- Bogdanis, G. C., Stavrinou, P. S., Fatouros, I. G., Philippou, A., Chatzinikolaou, A., Draganidis, D., Ermidis, G., & Maridaki, M. (2013). Short-term high-intensity interval exercise training attenuates oxidative stress responses and improves antioxidant status in healthy humans. *Food and Chemical Toxicology*, *61*, 171-177.
<https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.05.046>
- Bond, V., Curry, B., Adams, R. G., Asadi, M. S., Millis, R. M., & Haddad, G. E. (2013). Effects of dietary nitrates on systemic and cerebrovascular hemodynamics. *Cardiology Research and Practice*, *2013*, 1-9. <https://doi.org/10.1155/2013/435629>

- Bondonno, C. P., Downey, L. A., Croft, K. D., Scholey, A., Stough, C., Yang, X., Considine, M. J., Ward, N. C., Puddey, I. B., Swinny, E., Mubarak, A., & Hodgson, J. M. (2014). The acute effect of flavonoid-rich apples and nitrate-rich spinach on cognitive performance and mood in healthy men and women. *Food & Function*, *5*(5), 849-858. <https://doi.org/10.1039/c3fo60590f>
- Brown, S., Raman, A., Schlader, Z. J., & Stannard, S. R. (2013). Ventilatory efficiency in juvenile elite cyclists. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *16*(3), 266-270. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2012.06.010>
- Buchheit, M., & Laursen, P. B. (2013). High-Intensity interval training, solutions to the programming puzzle. *Sports Medicine*, *43*(5), 313-338. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0029-x>
- Burgomaster, K. A., Howarth, K. R., Phillips, S. M., Rakobowchuk, M., MacDonald, M. J., McGee, S. L., & Gibala, M. J. (2008). Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans. *The Journal of Physiology*, *586*(1), 151-160. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2007.142109>
- Calixto, J. B., Campos, M. M., Otuki, M. F., & Santos, A. R. (2004). Anti-Inflammatory Compounds of plant origin. Part II. Modulation of Pro-Inflammatory cytokines, chemokines and adhesion molecules. *Planta Medica*, *70*(2), 93-103. <https://doi.org/10.1055/s-2004-815483>
- Campbell, B., Roberts, M., Kerksick, C. M., Wilborn, C., Marcello, B., Taylor, L., Nassar, E., Leutholtz, B., Bowden, R. G., Rasmussen, C., Greenwood, M., & Kreider, R. B. (2006). Pharmacokinetics, safety, and effects on exercise performance of L-arginine A-ketoglutarate in trained adult men. *Nutrition*, *22*(9), 872-881. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2006.06.003>

- Cercadillo, A. (2016). Efectividad de las ayudas ergogénicas en el ciclismo: Una revisión bibliográfica. *Universidad de Jaén. Ciencias de la Salud*.
<https://hdl.handle.net/10953.1/3064>
- Cermak, N. M., Gibala, M. J., & Van Loon, L. J. (2012). Nitrate supplementation's improvement of 10-km Time-Trial performance in trained cyclists. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 22(1), 64-71.
<https://doi.org/10.1123/ijsnem.22.1.64>
- Chin-Dusting, J., Alexander, C. T., Arnold, P. G., Hodgson, W. C., Lux, A., & Jennings, G. (1996). Effects of in vivo and in vitro L-Arginine supplementation on healthy human vessels. *Journal of Cardiovascular Pharmacology*, 28(1), 158-166.
<https://doi.org/10.1097/00005344-199607000-00023>
- Cholewa, J. M., Hudson, A., Cicholski, T., Cervenka, A., Barreno, K., Broom, K., McKenzie, D. R., & Craig, S. A. (2018). The effects of chronic betaine supplementation on body composition and performance in collegiate females: a double-blind, randomized, placebo controlled trial. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 15(1).
<https://doi.org/10.1186/s12970-018-0243-x>
- Clifford, T., Bell, O., West, D. J., Howatson, G., & Stevenson, E. (2015). The effects of beetroot juice supplementation on indices of muscle damage following eccentric exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 116(2), 353-362.
<https://doi.org/10.1007/s00421-015-3290-x>
- Clifford, T., Constantinou, C. M., Keane, K. M., West, D. J., Howatson, G., & Stevenson, E. (2016). The plasma bioavailability of nitrate and betanin from *Beta vulgaris rubra* in humans. *European journal of nutrition*, 56(3), 1245-1254.
<https://doi.org/10.1007/s00394-016-1173-5>

- Coggan, A. R., Broadstreet, S. R., Mikhalkova, D., Bole, I., Leibowitz, J. L., Kadkhodayan, A., Park, S. H., Thomas, D. P., Thies, D., & Peterson, L. R. (2018). Dietary nitrate-induced increases in human muscle power: high versus low responders. *Physiological Reports*, 6(2), e13575. <https://doi.org/10.14814/phy2.13575>
- Coutts, A. J., Slattery, K. M., & Wallace, L. J. (2007). Practical tests for monitoring performance, fatigue and recovery in triathletes. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 10(6), 372-381. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2007.02.007>
- Cristea, M., Noja, G. G., Stefea, P., & Sala, A. L. (2020). The impact of population aging and public health support on EU labor markets. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(4), 1439. <https://doi.org/10.3390/ijerph17041439>
- Croft, S. J., Gray, C., & Duncan, J. F. (1999). *MOTIVES FOR PARTICIPATING IN TRIATHLON AN INVESTIGATION BETWEEN ELITE AND NON-ELITE COMPETITORS*. <https://www.geocities.ws/CollegePark/5686/su99p12.htm>
- Cruickshank, A., & Collins, D. (2014). Illuminating and applying “The Dark Side”: Insights from elite team leaders. *Journal of Applied Sport Psychology*, 27(3), 249-267. <https://doi.org/10.1080/10413200.2014.982771>
- Cruz, J. (2022). Siete beneficios de aprender Excel. *Ninja Excel*. <https://www.ninjaexcel.com/formulas-y-funciones-de-excel/beneficios-aprender-excel/>
- Cuenca, E., Jiménez, P. J., Pérez-López, A., González-Rodríguez, L. G., Da Silva, S. F., Veiga-Herreros, P., & Domínguez, R. (2018). Effects of Beetroot Juice Supplementation on Performance and Fatigue in a 30-s All-Out Sprint Exercise: A Randomized, Double-Blind Cross-Over Study. *Nutrients*, 10(9), 1222. <https://doi.org/10.3390/nu10091222>

- Dan, O. F., Ahouansou, D. M. M., & Sintondji, L. O. (2022). Evaluation of the Microbiological Quality of Drinking Water and Health Risks in the Commune of Sô-Ava, in Southern Benin (Evaluation De La Qualité Microbiologique Des Eaux De Boisson Et Risques Sanitaires Dans La Commune De Sô-Ava, Au Sud-Bénin). *Journal of Water Resource and Protection*, 14(07), 501-514. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2022.147026>
- De La Lastra, J. M. P., Juan, C. A., Plou, F. J., & Pérez-Lebeña, E. (2022). The nitration of proteins, lipids and DNA by peroxynitrite Derivatives-Chemistry involved and biological relevance. *Stresses*, 2(1), 53-64. <https://doi.org/10.3390/stresses2010005>
- De La Torre, J. C., & Stefano, G. B. (2000). Evidence that Alzheimer's disease is a microvascular disorder: the role of constitutive nitric oxide. *Brain Research Reviews*, 34(3), 119-136. [https://doi.org/10.1016/s0165-0173\(00\)00043-6](https://doi.org/10.1016/s0165-0173(00)00043-6)
- De Tejada Lagonell, M. (2012). *Variables sociodemográficas según turno escolar, en un grupo de estudiantes de educación básica: un estudio comparativo*. Redalyc.org. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=65926546002>
- Detopoulou, P., Panagiotakos, D. B., Antonopoulou, S., Pitsavos, C., & Stefanadis, C. (2008). Dietary choline and betaine intakes in relation to concentrations of inflammatory markers in healthy adults: the ATTICA study. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 87(2), 424-430. <https://doi.org/10.1093/ajcn/87.2.424>
- Domínguez, R., Maté-Muñoz, J. L., Cuenca, E., García-Fernández, P., Mata-Ordoñez, F., Del Carmen Lozano-Estevan, M., Da Silva, S. F., & Garnacho-Castaño, M. V. (2018). Effects of beetroot juice supplementation on intermittent high-intensity exercise efforts. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 15(1). <https://doi.org/10.1186/s12970-017-0204-9>

- Dorożyński, B., Osowski, M., Balwierz, R., Biernat, P., & Jasicka-Misiak, I. (2023). Application of Beetroot's nitrates juice in team sports. *Science & Sports*, 38(2), 109-115. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2022.04.010>
- Dudzinski, D. M., Igarashi, J., Greif, D. M., & Michel, T. (2006). THE REGULATION AND PHARMACOLOGY OF ENDOTHELIAL NITRIC OXIDE SYNTHASE. *Annual Review of Pharmacology and Toxicology*, 46(1), 235-276. <https://doi.org/10.1146/annurev.pharmtox.44.101802.121844>
- Duffield, R., Cannon, J., & King, M. (2010). The effects of compression garments on recovery of muscle performance following high-intensity sprint and plyometric exercise. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(1), 136-140. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2008.10.006>
- Dunham, C. B., & Harms, C. A. (2011). Effects of high-intensity interval training on pulmonary function. *European Journal of Applied Physiology*, 112(8), 3061-3068. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-2285-5>
- Edwards, D. G., Schofield, R. S., Lennon, S. L., Pierce, G. L., Nichols, W. W., & Braith, R. W. (2004). Effect of exercise training on endothelial function in men with coronary artery disease. *American Journal of Cardiology*, 93(5), 617-620. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2003.11.032>
- ElMlili, N., Rodrigo, R., Naghizadeh, B., Cauli, O., & Felipo, V. (2008). Chronic hyperammonemia reduces the activity of neuronal nitric oxide synthase in cerebellum by altering its localization and increasing its phosphorylation by calcium-calmodulin kinase II. *Journal of Neurochemistry*, 106(3), 1440-1449. <https://doi.org/10.1111/j.1471-4159.2008.05495.x>

- Eriksen, M. B., & Frandsen, T. F. (2018a). The Impact of Patient, Intervention, Comparison, Outcome (PICO) as a Search Strategy Tool on literature search Quality: A Systematic review. *Journal of The Medical Library Association*, 106(4).
<https://doi.org/10.5195/jmla.2018.345>
- Eriksen, M. B., & Frandsen, T. F. (2018b). The Impact of Patient, Intervention, Comparison, Outcome (PICO) as a Search Strategy Tool on literature search Quality: A Systematic review. *Journal of The Medical Library Association*, 106(4).
<https://doi.org/10.5195/jmla.2018.345>
- Erwin, P. A., Lin, A. J., Golan, D. E., & Michel, T. (2005). Receptor-regulated dynamic S-Nitrosylation of endothelial nitric-oxide synthase in vascular endothelial cells. *Journal of Biological Chemistry*, 280(20), 19888-19894.
<https://doi.org/10.1074/jbc.m413058200>
- Faculty of Physical Education, University of Tetova. (s. f.). *DETERMINATION OF THE DIFFERENCES IN ANTHROPOMETRIC CHARACTERISTICS, MOTORIC AND SPECIFIC MOTORIC ABILITIES OF YOUNG FOOTBALL PLAYERS AGED 12 TO 14 IN THE REPUBLIC OF NORTH MACEDONIA - Universiteti i Tetoves*.
<http://eprints.unite.edu.mk/id/eprint/986>
- Ferguson, S. K., Hirai, D. M., Copp, S. W., Holdsworth, C., Allen, J. D., Jones, A. M., Musch, T. I., & Poole, D. C. (2012). Impact of dietary nitrate supplementation via beetroot juice on exercising muscle vascular control in rats. *The Journal of Physiology*, 591(2), 547-557. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2012.243121>
- Fernández, I. L., Merino-Marban, R., & Fernández-Rodríguez, E. (2014). Examining the relationship between sex and motivation in triathletes. *Perceptual and Motor Skills*, 119(1), 42-49. <https://doi.org/10.2466/30.19.pms.119c11z1>

- Finch, C. F., & Donaldson, A. (2009). A sports setting Matrix for understanding the implementation context for community sport. *British Journal of Sports Medicine*, 44(13), 973-978. <https://doi.org/10.1136/bjism.2008.056069>
- Flanagan, S. D., Looney, D. P., Miller, M. J., DuPont, W. H., Pryor, L., Creighton, B. C., Sterczala, A. J., Szivak, T. K., Hooper, D. R., Maresh, C. M., Volek, J. S., Ellis, L., & Kraemer, W. J. (2016). The effects of Nitrate-Rich supplementation on neuromuscular efficiency during heavy resistance exercise. *Journal of The American College of Nutrition*, 35(2), 100-107. <https://doi.org/10.1080/07315724.2015.1081572>
- Flegl, M. (2014). Performance analysis during the 2014 FIFA World Cup qualification. *The Open Sports Sciences Journal*, 7(1), 183-197. <https://doi.org/10.2174/1875399x01407010183>
- Förstermann, U., & Li, H. (2011). Therapeutic effect of enhancing endothelial nitric oxide synthase (ENOS) expression and preventing ENOS uncoupling. *British Journal of Pharmacology*, 164(2), 213-223. <https://doi.org/10.1111/j.1476-5381.2010.01196.x>
- Foster, L., James, D., & Haake, S. (2010). Understanding the influence of population size on athletic performance. *Procedia Engineering*, 2(2), 3183-3189. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2010.04.130>
- Gabbett, T. J. (2006). Performance changes following a field conditioning program in junior and senior rugby league players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(1), 215. <https://doi.org/10.1519/r-16554.1>
- Gabbett, T. J., & Jenkins, D. G. (2011). Relationship between training load and injury in professional rugby league players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 14(3), 204-209. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2010.12.002>

- Gabbett, T. J., Whyte, D. G., Hartwig, T. B., Wescombe, H., & Naughton, G. (2014). The relationship between workloads, physical performance, injury and illness in adolescent male football players. *Sports Medicine*, *44*(7), 989-1003.
<https://doi.org/10.1007/s40279-014-0179-5>
- Galler, S., Hilber, K., & Göbesberger, A. (1997). Effects of nitric oxide on force-generating proteins of skeletal muscle. *Pflügers Archiv: European Journal of Physiology*, *434*(3), 242-245. <https://doi.org/10.1007/s004240050391>
- Gardel, M. L. (2015). Moving beyond molecular mechanisms. *Journal of Cell Biology*, *208*(2), 143-145. <https://doi.org/10.1083/jcb.201412143>
- Garnacho-Castaño, M. V., Palau-Salvà, G., Cuenca, E., Muñoz-González, A., García-Fernández, P., Del Carmen Lozano-Estevan, M., Veiga-Herreros, P., & Domínguez, R. (2018). Effects of a single dose of beetroot juice on cycling time trial performance at ventilatory thresholds intensity in male triathletes. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, *15*(1). <https://doi.org/10.1186/s12970-018-0255-6>
- Garnacho-Castaño, M. V., Palau-Salvà, G., Serra-Payá, N., Ruiz-Hermosel, M., Berbell, M., Viñals, X., Bataller, M. Q., Carbonell, T., Vilches-Saez, S., Pleguezuelos, E., & Molina-Raya, L. (2020). Understanding the effects of beetroot juice intake on CrossFit performance by assessing hormonal, metabolic and mechanical response: a randomized, double-blind, crossover design. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, *17*(1). <https://doi.org/10.1186/s12970-020-00388-z>
- Gastin, P. B., Meyer, D., & Robinson, D. (2013). Perceptions of Wellness to monitor adaptive responses to training and competition in elite Australian football. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *27*(9), 2518-2526.
<https://doi.org/10.1519/jsc.0b013e31827fd600>

- Gavotto, A., Huguet, H., Picot, M., Guillaumont, S., Matecki, S., & Amedro, P. (2020). The $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ slope: a useful tool to evaluate the physiological status of children with congenital heart disease. *Journal of Applied Physiology*, *129*(5), 1102-1110. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00520.2020>
- Gil, S. M., Gil, J., Ruiz, F. L., Irazusta, A., & Irazusta, J. (2007). Physiological and anthropometric characteristics of young soccer players according to their playing position: relevance for the selection process. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *21*(2), 438. <https://doi.org/10.1519/r-19995.1>
- Gilchrist, M., Winyard, P. G., Fulford, J., Anning, C., Shore, A. C., & Benjamin, N. (2014). Dietary nitrate supplementation improves reaction time in Type 2 diabetes: Development and application of a novel nitrate-depleted beetroot juice placebo. *Nitric Oxide*, *40*, 67-74. <https://doi.org/10.1016/j.niox.2014.05.003>
- Gilmore, S., & Sillince, J. A. A. (2014). Institutional Theory and Change: The Deinstitutionalisation of sports science at Club X. *Journal of Organizational Change Management*, *27*(2), 314-330. <https://doi.org/10.1108/jocm-02-2013-0022>
- Girard, O., Mendez-Villanueva, A., & Bishop, D. (2011). Repeated-Sprint Ability – Part I. *Sports Medicine*, *41*(8), 673-694. <https://doi.org/10.2165/11590550-000000000-00000>
- Gladwin, M. T., Schechter, A. N., Kim-Shapiro, D. B., Patel, R. P., Hogg, N., Shiva, S., Cannon, R. O., Kelm, M., Wink, D. A., Espey, M. G., Oldfield, E. H., Pluta, R., Freeman, B. A., Lancaster, J. R., Feelisch, M., & Lundberg, J. O. (2005). The emerging biology of the nitrite anion. *Nature Chemical Biology*, *1*(6), 308-314. <https://doi.org/10.1038/nchembio1105-308>

- Gomes, R. V., Moreira, A., Lodo, L., Nosaka, K., Coutts, A. J., & Aoki. (2013). Monitoring training loads, stress, immune-endocrine responses and performance in tennis players. *Biology of Sport*, 30(3), 173-180. <https://doi.org/10.5604/20831862.1059169>
- González-Valentín, A. (s. f.). *Características sociodemográficas, de salud y utilización de recursos sanitarios de cuidadores de ancianos atendidos en domicilio*. http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1134-928X2009000100003&lng=es&nrm=iso
- Hayek, S. A., & Ibrahim, S. A. (2012). Antimicrobial activity of xoconostle pears (*Opuntia matudae*) against *Escherichia coli* O157:H7 in laboratory medium. *International Journal of Microbiology*, 2012, 1-6. <https://doi.org/10.1155/2012/368472>
- Heine, C. L., Kolesnik, B., Schmidt, R., Werner, E. R., Mayer, B., & Gorren, A. C. (2014). Interaction between neuronal Nitric-Oxide synthase and tetrahydrobiopterin revisited: Studies on the nature and mechanism of tight pterin binding. *Biochemistry*, 53(8), 1284-1295. <https://doi.org/10.1021/bi401307r>
- Heiss, C., Schanz, A., Amabile, N., Jahn, S., Chen, Q., Wong, M. L., Rassaf, T., Heinen, Y., Cortese-Krott, M. M., Grossman, W., Yeghiazarians, Y., & Springer, M. L. (2010). Nitric oxide synthase expression and functional response to nitric oxide are both important modulators of circulating angiogenic cell response to angiogenic stimuli. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*, 30(11), 2212-2218. <https://doi.org/10.1161/atvbaha.110.211581>
- Heiss, E. H., & Dirsch, V. M. (2014). Regulation of ENOS enzyme activity by posttranslational modification. *Current Pharmaceutical Design*, 20(22), 3503-3513. <https://doi.org/10.2174/13816128113196660745>

- Hernández, A., Schiffer, T. A., Ivarsson, N., Cheng, A. J., Bruton, J. D., Lundberg, J. O., Weitzberg, E., & Westerblad, H. (2012). Dietary nitrate increases tetanic $[CA^{2+}]_i$ and contractile force in mouse fast-twitch muscle. *The Journal of Physiology*, *590*(15), 3575-3583. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2012.232777>
- Hobbs, D., George, T., & Lovegrove, J. A. (2013). The effects of dietary nitrate on blood pressure and endothelial function: A review of human intervention studies. *Nutrition Research Reviews*, *26*(2), 210-222. <https://doi.org/10.1017/s0954422413000188>
- Hoon, M. W., Johnson, N. A., Chapman, P., & Burke, L. M. (2013). The Effect of nitrate supplementation on exercise performance in Healthy Individuals: A Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, *23*(5), 522-532. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.23.5.522>
- Hoon, M. W., Jones, A. M., Johnson, N. A., Blackwell, J. R., Broad, E., Lundy, B., Rice, A. J., & Burke, L. M. (2014). The effect of variable doses of inorganic Nitrate-Rich beetroot juice on simulated 2000-m rowing performance in trained athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *9*(4), 615-620. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2013-0207>
- Howatson, G., & Milak, A. (2009). Exercise-Induced muscle damage following a bout of sport specific repeated sprints. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *23*(8), 2419-2424. <https://doi.org/10.1519/jsc.0b013e3181bac52e>
- Huggins, R. A., Coleman, K., Attanasio, S. M., Cooper, G. L., Endres, B. D., Harper, R. C., Huemme, K. L., Morris, R. T., Lacy, A. M. P., Peterson, B. C., Pryor, R. R., & Casa, D. J. (2019). Athletic trainer services in the secondary school setting: The Athletic Training Locations and Services Project. *Journal of Athletic Training*, *54*(11), 1129-1139. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-12-19>

- Iannetta, D., Inglis, E. C., Mattu, A. T., Fontana, F. Y., Pogliaghi, S., Keir, D. A., & Murias, J. M. (2020). A Critical evaluation of current methods for exercise prescription in women and men. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 52(2), 466-473.
<https://doi.org/10.1249/mss.0000000000002147>
- INEC. (2021). *Demográficamente, población costarricense se encuentra en proceso de envejecimiento* | Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica.
<https://www.mideplan.go.cr/demograficamente-poblacion-costarricense-se-encuentra-en-proceso-de-envejecimiento>
- Jara, L. (2019, 8 noviembre). Indicadores sociodemográficos | Observatorio. *Observatorio Económico Social* | UNR. <https://observatorio.unr.edu.ar/indicadores-sociodemograficos/>
- Jiménez, P. J., Domínguez, R., Sánchez-Oliver, A. J., Veiga-Herreros, P., & Bailey, S. J. (2020). Effect of beetroot juice supplementation on mood, perceived exertion, and performance during a 30-Second Wingate test. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 15(2), 243-248. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2019-0149>
- Jones, A. M. (2014). Dietary nitrate supplementation and exercise performance. *Sports Medicine*, 44(S1), 35-45. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0149-y>
- Jones, B., Hamilton, D. K., & Cooper, C. E. (2015). Muscle oxygen changes following sprint interval cycling training in elite field hockey players. *PLOS ONE*, 10(3), e0120338.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0120338>
- Joris, P. J., & Mensink, R. P. (2013). Beetroot juice improves in overweight and slightly obese men postprandial endothelial function after consumption of a mixed meal. *Atherosclerosis*, 231(1), 78-83. <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2013.09.001>

- Jówko, E., Długołęcka, B., Makaruk, B., & Cieśliński, I. (2014). The effect of green tea extract supplementation on exercise-induced oxidative stress parameters in male sprinters. *European journal of nutrition*, 54(5), 783-791.
<https://doi.org/10.1007/s00394-014-0757-1>
- Kannan, K., & Jain, S. K. (2000). Oxidative stress and apoptosis. *Pathophysiology*, 7(3), 153-163. [https://doi.org/10.1016/s0928-4680\(00\)00053-5](https://doi.org/10.1016/s0928-4680(00)00053-5)
- Kanner, J., Harel, S., & Granit, R. (2001). Betalains A new class of dietary cationized antioxidants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(11), 5178-5185.
<https://doi.org/10.1021/jf010456f>
- Kar, S. K., & Sahoo, S. K. (2019). Physiological mechanisms. En *Springer eBooks* (pp. 1-4).
https://doi.org/10.1007/978-3-319-16999-6_1755-1
- Kayne, M. (s. f.). *Biblioguias: Zotero y Recursos CEPAL: Zotero*.
<https://biblioguias.cepal.org/zotero#:~:text=Qu%C3%A9%20hace%20Zotero&text=Zotero%20detecta%20cuando%20un%20libro,una%20copia%20de%20la%20fuente>.
- Khan, M. I. (2015). Plant betalains: safety, antioxidant activity, clinical efficacy, and bioavailability. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(2), 316-330. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12185>
- Kohen, R., & Nyska, A. (2002). Invited Review: Oxidation of biological systems: oxidative stress phenomena, antioxidants, redox reactions, and methods for their quantification. *Toxicologic Pathology*, 30(6), 620-650. <https://doi.org/10.1080/01926230290166724>
- Kroshus, E., Rivara, F. P., Whitlock, K. B., Herring, S. A., & Chrisman, S. P. D. (2017). Disparities in athletic trainer staffing in secondary school sport. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 27(6), 542-547. <https://doi.org/10.1097/jsm.0000000000000409>

- Lamas, S., Marsden, P. A., Li, G. K., Tempst, P., & Michel, T. (1992). Endothelial nitric oxide synthase: molecular cloning and characterization of a distinct constitutive enzyme isoform. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *89*(14), 6348-6352. <https://doi.org/10.1073/pnas.89.14.6348>
- Lansley, K. E., Winyard, P. G., Fulford, J., Vanhatalo, A., Bailey, S. J., Blackwell, J. R., DiMenna, F. J., Gilchrist, M., Benjamin, N., & Jones, A. M. (2011). Dietary nitrate supplementation reduces the O₂ cost of walking and running: a placebo-controlled study. *Journal of Applied Physiology*, *110*(3), 591-600. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01070.2010>
- Larsen, F. J., Weitzberg, E., Lundberg, J. O., & Ekblom, B. (2007). Effects of dietary nitrate on oxygen cost during exercise. *Acta Physiologica*, *191*(1), 59-66. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.2007.01713.x>
- Laursen, P. B., & Jenkins, D. G. (2002). The Scientific Basis for High-Intensity Interval Training. *Sports Medicine*, *32*(1), 53-73. <https://doi.org/10.2165/00007256-200232010-00003>
- Lepers, R. (2019). Sex difference in triathlon performance. *Frontiers in Physiology*, *10*. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00973>
- Li, T., Norcross, M. F., Johnson, S. T., & Koester, M. C. (2019). Cost-Benefit of hiring athletic trainers in Oregon high Schools from 2011–2014. *Journal of Athletic Training*, *54*(2), 165-169. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-390-17>
- Lidder, S., & Webb, D. J. (2013). Vascular effects of dietary nitrate (as found in green leafy vegetables and beetroot) via the nitrate-nitrite-nitric oxide pathway. *British Journal of Clinical Pharmacology*, *75*(3), 677-696. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2125.2012.04420.x>

- Lim, P. S., Sutton, C., & Rao, S. (2015). Protein kinase C in the immune system: from signalling to chromatin regulation. *Immunology*, *146*(4), 508-522.
<https://doi.org/10.1111/imm.12510>
- Lin, R., Piao, M., & Song, Y. (2019). Dietary quercetin increases colonic microbial diversity and attenuates colitis severity in citrobacter rodentium-Infected mice. *Frontiers in Microbiology*, *10*. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01092>
- Liu, Z., Ma, Z., Zhang, H., Summah, B. S., Liu, H., An, D., Zhan, Q., Lai, W., Zeng, Q., Ren, H., & Xu, D. (2019). Ferulic acid increases intestinal lactobacillus and improves cardiac function in TAC mice. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, *120*, 109482.
<https://doi.org/10.1016/j.biopha.2019.109482>
- López-Samanes, Á., Parra, A. G., Moreno-Pérez, V., & Courel-Ibáñez, J. (2020). Does acute beetroot juice supplementation improve neuromuscular performance and match activity in young basketball players? a randomized, Placebo-Controlled study. *Nutrients*, *12*(1), 188. <https://doi.org/10.3390/nu12010188>
- López-Samanes, Á., Pérez-López, A., Moreno-Pérez, V., Nakamura, F. Y., Acebes-Sánchez, J., Quintana-Milla, I., Sánchez-Oliver, A. J., Moreno-Pérez, D., Fernández-Elías, V. E., & Domínguez, R. (2020). Effects of beetroot juice ingestion on physical performance in highly competitive tennis players. *Nutrients*, *12*(2), 584.
<https://doi.org/10.3390/nu12020584>
- Loufrani, L., Retailleau, K., Bocquet, A., Dumont, O., Danker, K., Louis, H., Lacolley, P., & Henrion, D. (2008). Key role of A₁β₁-Integrin in the activation of PI3-Kinase-AKT by flow (shear stress) in resistance arteries. *American Journal of Physiology-heart and Circulatory Physiology*, *294*(4), H1906-H1913.
<https://doi.org/10.1152/ajpheart.00966.2006>

- Lozano, S., Villa, G., Guerrero, F., & Cortés, P. (2002). Measuring the performance of nations at the Summer Olympics using data envelopment analysis. *Journal of the Operational Research Society*, 53(5), 501-511. <https://doi.org/10.1057/palgrave/jors/2601327>
- Lühker, O., Berger, M. M., Pohlmann, A., Hotz, L., Gruhlke, T., & Hochreiter, M. (2017). Changes in acid–base and ion balance during exercise in normoxia and normobaric hypoxia. *European Journal of Applied Physiology*, 117(11), 2251-2261. <https://doi.org/10.1007/s00421-017-3712-z>
- Luiz, J., & Fadal, R. (2011). An Economic Analysis of sports performance in Africa. *International Journal of Social Economics*, 38(10), 869-883. <https://doi.org/10.1108/03068291111170415>
- Lundberg, J. O., Weitzberg, E., & Gladwin, M. T. (2008). The nitrate–nitrite–nitric oxide pathway in physiology and Therapeutics. *Nature Reviews Drug Discovery*, 7(2), 156-167. <https://doi.org/10.1038/nrd2466>
- Luo, S., Lei, H., Qin, H., & Xia, Y. (2014). Molecular mechanisms of endothelial NO synthase uncoupling. *Current Pharmaceutical Design*, 20(22), 3548-3553. <https://doi.org/10.2174/13816128113196660746>
- Madamanchi, N. R., Moon, S. J., Hakim, Z. S., Clark, S., Mehrizi, A. A., Patterson, C., & Runge, M. S. (2005). Differential activation of mitogenic signaling pathways in aortic smooth muscle cells deficient in superoxide dismutase isoforms. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*, 25(5), 950-956. <https://doi.org/10.1161/01.atv.0000161050.77646.68>
- Makizako, H., Doi, T., Shimada, H., Yoshida, D., Tsutsumimoto, K., Uemura, K., & Suzuki, T. (2012). Does a multicomponent exercise program improve dual-task performance in

- amnesic mild cognitive impairment? a randomized controlled trial. *PubMed*, 24(6), 640-646. <https://doi.org/10.3275/8760>
- Malchrowicz-Moško, E., Młodzik, M., Banio, A., & Omorczyk, A. (2018). Triathlon jako forma konsumpcji sportowej – motywacje do udziału. *Turyzm*, 28(2), 45-51. <https://doi.org/10.18778/0867-5856.28.2.05>
- Malchrowicz-Moško, E., & Poczta, J. (2018). Running as a form of therapy Socio-Psychological functions of mass running events for men and women. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(10), 2262. <https://doi.org/10.3390/ijerph15102262>
- Malchrowicz-Moško, E., & Poczta, J. (2019). Motivations for running in Men: A Comparative analysis of local runners and sports tourists. *Turyzm*, 29(2), 69-79. <https://doi.org/10.18778/0867-5856.29.2.07>
- Manach, C., Williamson, G., Morand, C., Scalbert, A., & Remesy, C. (2005). Bioavailability and bioefficacy of polyphenols in humans. i. Review of 97 bioavailability studies. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 81(1), 230S-242S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/81.1.230s>
- McLaren, S. J., Graham, M. J., Spears, I. R., & Weston, M. (2016). The sensitivity of differential ratings of perceived exertion as measures of internal load. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(3), 404-406. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0223>
- Michel, T., & Feron, O. (1997). Nitric oxide synthases: Which, where, how, and why? *Journal of Clinical Investigation*, 100(9), 2146-2152. <https://doi.org/10.1172/jci119750>

- Millet, G., & Bentley, D. (2004). The physiological responses to running after cycling in elite junior and senior triathletes. *International Journal of Sports Medicine*, 25(3), 191-197.
<https://doi.org/10.1055/s-2003-45259>
- Mittal, M., Siddiqui, M. R., Tran, K., Reddy, S. P., & Malik, A. B. (2014). Reactive oxygen species in inflammation and tissue injury. *Antioxidants & Redox Signaling*, 20(7), 1126-1167. <https://doi.org/10.1089/ars.2012.5149>
- Monteiro, R., & Azevedo, I. (2010). Chronic inflammation in obesity and the metabolic syndrome. *Mediators of Inflammation*, 2010, 1-10.
<https://doi.org/10.1155/2010/289645>
- NCI. (2023). *Diccionario de Cáncer del NCI*. Instituto Nacional del Cáncer.
<https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/mecanismo-de-accion>
- Ninfali, P., & Angelino, D. (2013). Nutritional and functional potential of Beta vulgaris Cicla and rubra. *Fitoterapia*, 89, 188-199. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2013.06.004>
- Ormsbee, M. J., Lox, J., & Arciero, P. J. (2013). Beetroot juice and exercise performance. *Nutrition and dietary supplements*, 27. <https://doi.org/10.2147/nds.s52664>
- Otte, L. A., Bell, K. S., Loufrani, L., Yeh, J., Melchior, B., Dao, D. N., Stevens, H. Y., White, C. R., & Frangos, J. A. (2009). Rapid changes in shear stress induce dissociation of a GA_{Q11}-platelet endothelial cell adhesion molecule-1 complex. *The Journal of Physiology*, 587(10), 2365-2373. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2009.172643>
- Pardo, L. A., & Zarazaga, B. C. (2013). Zumo de remolacha: suplemento natural para deportistas. *Medicina naturista*, 7(2), 116-118.
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4297906.pdf>

- Pelletier, L. G., Tuson, K. M., Fortier, M., Vallerand, R. J., Brière, N., & Blais, M. R. (1995). Toward a new measure of intrinsic motivation, extrinsic motivation, and amotivation in sports: the Sport Motivation Scale (SMS). *Journal of Sport & Exercise Psychology*, *17*(1), 35-53. <https://doi.org/10.1123/jsep.17.1.35>
- Pike, A. M., Pryor, R. R., Mazerolle, S. M., Stearns, R. L., & Casa, D. J. (2016). Athletic trainer services in US private secondary schools. *Journal of Athletic Training*, *51*(9), 717-726. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-51.11.04>
- Pinna, M., Milia, R., Roberto, S., Marongiu, E., Olla, S., Loi, A., Ortu, M., Migliaccio, G. M., Tocco, F., Concu, A., & Crisafulli, A. (2012). Assessment of the specificity of cardiopulmonary response during tethered swimming using a new snorkel device. *Journal of Physiological Sciences*, *63*(1), 7-16. <https://doi.org/10.1007/s12576-012-0226-7>
- Poczta, J., Almeida, N., Rozmiarek, M., Młodzik, M., & Malchrowicz-Moško, E. (2021). Men's and women's style of living and motivation to run in charity events. *Sustainability*, *13*(9), 5287. <https://doi.org/10.3390/su13095287>
- Poczta, J., & Malchrowicz-Moško, E. (2018). Modern Running Events in Sustainable Development—More than just taking care of health and physical condition (Poznan Half marathon case Study). *Sustainability*, *10*(7), 2145. <https://doi.org/10.3390/su10072145>
- Presley, T. D., Morgan, A., Bechtold, E., Clodfelter, W., Dove, R. W., Jennings, J. M., Kraft, R. A., King, S. B., Laurienti, P. J., Rejeski, W. J., Burdette, J. H., Kim-Shapiro, D. B., & Miller, G. D. (2011). Acute effect of a high nitrate diet on brain perfusion in older adults. *Nitric Oxide*, *24*(1), 34-42. <https://doi.org/10.1016/j.niox.2010.10.002>

- Puccinelli, P. J., De Lira, C. A. B., Vancini, R. L., Nikolaidis, P. T., Knechtle, B., Rosemann, T., & Andrade, M. S. (2022). The performance, physiology and morphology of female and male Olympic-Distance Triathletes. *Healthcare, 10*(5), 797.
<https://doi.org/10.3390/healthcare10050797>
- Ramos, C. (2021). *Vista de editorial: Diseños de investigación experimental | CienciAmérica*.
<https://cienciamerica.edu.ec/index.php/uti/article/view/356/699>
- Rampinini, E., Connolly, D., La Torre, D., Alberti, G., & Bosio, A. (2016, 1 febrero). *Peripheral neuromuscular fatigue induced by repeated-sprint exercise: cycling vs. running*. PubMed. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25289713/>
- Ravi, K., Brennan, L. A., Levic, S., Ross, P., & Black, S. M. (2004). S-nitrosylation of endothelial nitric oxide synthase is associated with monomerization and decreased enzyme activity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 101*(8), 2619-2624. <https://doi.org/10.1073/pnas.0300464101>
- Rein, M. J., Renouf, M., Cruz-Hernandez, C., Actis-Goretta, L., Thakkar, S. K., & Da Silva Pinto, M. (2013). Bioavailability of bioactive food compounds: A challenging journey to bioefficacy. *British Journal of Clinical Pharmacology, 75*(3), 588-602.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2125.2012.04425.x>
- Reuter, S., Gupta, S. C., Chaturvedi, M. M., & Aggarwal, B. B. (2010). Oxidative stress, inflammation, and cancer: How are they linked? *Free Radical Biology and Medicine, 49*(11), 1603-1616. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2010.09.006>
- Rogalski, B., Dawson, B., Heasman, J., & Gabbett, T. J. (2013). Training and game loads and injury risk in elite Australian footballers. *Journal of Science and Medicine in Sport, 16*(6), 499-503. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2012.12.004>

- Rojas-Valverde, D., Montoya-Rodríguez, J., Azofeifa-Mora, C., & Sánchez-Ureña, B. (2020). Effectiveness of beetroot juice derived nitrates supplementation on fatigue resistance during repeated-sprints: A Systematic review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *61*(20), 3395-3406. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1798351>
- Romer, L. M., & Polkey, M. I. (2008). Exercise-induced respiratory muscle fatigue: Implications for performance. *Journal of Applied Physiology*, *104*(3), 879-888. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01157.2007>
- Rubio, C., & Galán, A. (2016). Efectividad de las ayudas ergogénicas en el ciclismo: Una revisión bibliográfica. *Trabajos académicos de la universidad de Jaén*. <http://tauja.ujaen.es/handle/10953.1/3064>
- Rudnicka, E., Napierala, P., Podfigurna, A., Meczekalski, B., Smolarczyk, R., & Grymowicz, M. (2020). The World Health Organization (WHO) approach to healthy ageing. *Maturitas*, *139*, 6-11. <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2020.05.018>
- Rushall, B. S. (1990). A tool for measuring stress tolerance in elite athletes. *Journal of Applied Sport Psychology*, *2*(1), 51-66. <https://doi.org/10.1080/10413209008406420>
- Sánchez-Vicente, I., Lechón, T., Fernández-Marcos, M., Sanz, C., & Lorenzo, Ó. (2021). Nitric oxide alters the pattern of Auxin maxima and PIN-FORMED1 during shoot development. *Frontiers in Plant Science*, *12*. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.630792>
- Sandoo, A., Van Zanten, J. J. V., Metsios, G. S., Carroll, D., & Kitas, G. D. (2010). The endothelium and its role in regulating vascular tone. *The Open Cardiovascular Medicine Journal*, *4*(1), 302-312. <https://doi.org/10.2174/1874192401004010302>
- Sannikova, O., & Sannikov, C. (2023). Adventurousness and risk in the decision-making structure. *Journal of Physical Education and Sport*, *23*(4). <https://doi.org/10.7752/jpes.2023.04110>

- Santos, A., Turner, T. J., & Bycura, D. (2022). Current and future trends in strength and conditioning for female athletes. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *19*(5), 2687. <https://doi.org/10.3390/ijerph19052687>
- Schmidt, W., & Prommer, N. (2010). Impact of alterations in total hemoglobin mass on V O₂max. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, *38*(2), 68-75. <https://doi.org/10.1097/jes.0b013e3181d4957a>
- Schneider, K. R., Meeteer, W., Nolan, J. A., & H, C. (2017). Health care in high school athletics in West Virginia. *Rural and Remote Health*, *17*(1). <https://doi.org/10.22605/rrh3879>
- Schraufnagel, A., Schraufnagel, W., & Schraufnagel, D. E. (2017). Is healthcare a human right? Yes. *The American Journal of the Medical Sciences*, *354*(5), 447-448. <https://doi.org/10.1016/j.amjms.2017.10.001>
- Seeram, N. P., Aviram, M., Zhang, Y., Henning, S. M., Feng, L., Dreher, M. L., & Heber, D. (2008). Comparison of antioxidant potency of commonly consumed Polyphenol-Rich beverages in the United States. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *56*(4), 1415-1422. <https://doi.org/10.1021/jf073035s>
- Serra-Payá, N., Garnacho-Castaño, M. V., Sánchez-Nuño, S., Albasa-Albiol, L., Girabent-Farrés, M., Arcone, L. M., Fernández, A. P., García-Fresneda, A., Castizo-Olier, J., Viñals, X., Molina-Raya, L., & Bataller, M. Q. (2021). The relationship between resistance exercise performance and ventilatory efficiency after beetroot juice intake in Well-Trained Athletes. *Nutrients*, *13*(4), 1094. <https://doi.org/10.3390/nu13041094>
- Serreli, G., & Deiana, M. (2023). Role of dietary polyphenols in the activity and expression of nitric oxide synthases: a review. *Antioxidants*, *12*(1), 147. <https://doi.org/10.3390/antiox12010147>

- Shannon, O. M., Barlow, M., Duckworth, L., Williams, E. L., Wort, G., Woods, D. R., Siervo, M., & O'Hara, J. (2017). Dietary nitrate supplementation enhances short but not longer duration running time-trial performance. *European Journal of Applied Physiology*, *117*(4), 775-785. <https://doi.org/10.1007/s00421-017-3580-6>
- Singh, G. K., Daus, G. P., Allender, M., Ramey, C., Martin, E., Perry, C., De Los Reyes, A. A., & Vedamuthu, I. P. (2018). Social Determinants of Health in the United States: Addressing Major Health Inequality Trends for the Nation, 1935-2016. *International Journal of MCH and AIDS*, *6*(2), 139-164. <https://doi.org/10.21106/ijma.236>
- Sinovas, M. C., Pérez-López, A., Valverde, I. Á., Bores-Cerezal, A., Ramos-Campo, D. J., Rubio-Arias, J. Á., & Cerrato, D. V. (2015). [INFLUENCE OF BODY COMPOSITION ON VERTICAL JUMP PERFORMANCE ACCORDING WITH THE AGE AND THE PLAYING POSITION IN FOOTBALL PLAYERS]. *PubMed*, *32*(1), 299-307. <https://doi.org/10.3305/nh.2015.32.1.8876>
- Soskic, S., Dobutovic, B., Sudar-Milovanovic, E., Obradovic, M., Nikolic, D., Djordjevic, J., Radak, D., Mikhailidis, D. P., & Isenovic, E. R. (2011). Regulation of inducible nitric oxide synthase (iNOS) and its potential role in insulin resistance, diabetes and heart failure. *The Open Cardiovascular Medicine Journal*, *5*(1), 153-163. <https://doi.org/10.2174/1874192401105010153>
- Stanković, M., Čaprić, I., Đorđević, D., Đorđević, S., Preljević, A., Koničanin, A., Maljanović, D., Nailović, H., Muković, I., Jelaska, I., & Sporiš, G. (2023). Relationship between body composition and specific motor abilities according to position in elite female soccer players. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *20*(2), 1327. <https://doi.org/10.3390/ijerph20021327>

- Stanković, M., Đorđević, D., Aleksić, A., Lazić, A., Lilić, A., Čaprić, I., & Trajković, N. (2022). THE RELATIONSHIP BETWEEN JUMP PERFORMANCE, SPEED AND COD SPEED IN ELITE FEMALE SOCCER PLAYERS. *Facta universitatis. Series physical education and sport*, 047. <https://doi.org/10.22190/fupes220216005s>
- Stickland, M. K., Lindinger, M. I., Olfert, I. M., Heigenhauser, G. J. F., & Hopkins, S. R. (2013). Pulmonary gas exchange and Acid-Base balance during exercise. *Comprehensive Physiology*, 693-739. <https://doi.org/10.1002/cphy.c110048>
- Sudar-Milovanovic, E., Dobutovic, B., Soskic, S., Mandusic, V., Zakula, Z., Misirkic, M., Vucicevic, L., Janjetovic, K., Trajkovic, V., Mikhailidis, D. P., & Isenovic, E. R. (2010). Regulation of inducible nitric oxide synthase activity/expression in rat hearts from ghrelin-treated rats. *Journal of Physiology and Biochemistry*, 67(2), 195-204. <https://doi.org/10.1007/s13105-010-0063-1>
- Tesoriere, L., Attanzio, A., Allegra, M., Gentile, C., & Livrea, M. A. (2013). Indicaxanthin inhibits NADPH oxidase (NOX)-1 activation and NF-KB-dependent release of inflammatory mediators and prevents the increase of epithelial permeability in IL-1B-exposed CACO-2 cells. *British Journal of Nutrition*, 111(3), 415-423. <https://doi.org/10.1017/s0007114513002663>
- Thompson, C., Vanhatalo, A., Kadach, S., Wylie, L. J., Fulford, J., Ferguson, S. K., Blackwell, J. R., Bailey, S. J., & Jones, A. M. (2018). Discrete physiological effects of beetroot juice and potassium nitrate supplementation following 4-WK sprint interval training. *Journal of Applied Physiology*, 124(6), 1519-1528. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00047.2018>
- Thompson, C., Wylie, L. J., Fulford, J., Kelly, J., Black, M. I., McDonagh, S. T. J., Jeukendrup, A. E., Vanhatalo, A., & Jones, A. M. (2015). Dietary nitrate improves

sprint performance and cognitive function during prolonged intermittent exercise.

European Journal of Applied Physiology, 115(9), 1825-1834.

<https://doi.org/10.1007/s00421-015-3166-0>

Ting, Y., Jiang, Y., Ho, C. T., & Huang, Q. (2014). Common delivery systems for enhancing in vivo bioavailability and biological efficacy of nutraceuticals. *Journal of Functional Foods*, 7, 112-128. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2013.12.010>

Tomazin, K., Morin, J., & Millet, G. Y. (2017). Etiology of neuromuscular fatigue after repeated sprints depends on exercise modality. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(7), 878-885. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0200>

Toutain, P., & Bousquet-mélou, A. (2004). Bioavailability and its assessment. *Journal of Veterinary Pharmacology and Therapeutics*, 27(6), 455-466.

<https://doi.org/10.1111/j.1365-2885.2004.00604.x>

Tuteja, N., Chandra, M., Tuteja, R., & Misra, M. K. (2004). Nitric oxide as a unique bioactive signaling messenger in physiology and pathophysiology. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, 2004(4), 227-237. <https://doi.org/10.1155/s1110724304402034>

Van Velzen, A. G., Sips, A. J. A. M., Schothorst, R., Lambers, A., & Meulenbelt, J. (2008). The oral bioavailability of nitrate from nitrate-rich vegetables in humans. *Toxicology Letters*, 181(3), 177-181. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2008.07.019>

Vanhatalo, A., Bailey, S. J., Blackwell, J. R., DiMenna, F. J., Pavey, T., Wilkerson, D. P., Benjamin, N., Winyard, P. G., & Jones, A. M. (2010). Acute and chronic effects of dietary nitrate supplementation on blood pressure and the physiological responses to moderate-intensity and incremental exercise. *American Journal of Physiology-regulatory Integrative and Comparative Physiology*, 299(4), R1121-R1131. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00206.2010>

- Vannini, F., Kashfi, K., & Nath, N. (2015). The dual role of INOS in cancer. *Redox biology*, *6*, 334-343. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2015.08.009>
- Vårvik, F. T., Bjørnsen, T., & Gonzalez, A. M. (2021). Acute Effect of citrulline malate on repetition performance during Strength Training: A Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, *31*(4), 350-358. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2020-0295>
- Vidal, P. J., López-Nicolás, J. M., García-Carmona, F., & García-Carmona, F. (2014). Inactivation of lipoxygenase and cyclooxygenase by natural betalains and semi-synthetic analogues. *Food Chemistry*, *154*, 246-254. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.01.014>
- Viner, R., Williams, T. D., & Schöneich, C. (2000). Nitric oxide-dependent Modification of the Sarcoplasmic Reticulum CA-ATPASE: localization of cysteine target sites. *Free Radical Biology and Medicine*, *29*(6), 489-496. [https://doi.org/10.1016/s0891-5849\(00\)00325-7](https://doi.org/10.1016/s0891-5849(00)00325-7)
- Wang, Y., Fernando, G. S. N., Sergeeva, N. N., Vagkidis, N., Chechik, V., Do, T., Marshall, L., & Boesch, C. (2022). Uptake and immunomodulatory properties of betanin, vulgaxanthin I and indicaxanthin towards CACO-2 intestinal cells. *Antioxidants*, *11*(8), 1627. <https://doi.org/10.3390/antiox11081627>
- Webb, D. J., Patel, N., Loukogeorgakis, S., Okorie, M., Aboud, Z., Misra, S., Rashid, R., Miall, P., Deanfield, J., Benjamin, N., MacAllister, R. J., Hobbs, A. J., & Ahluwalia, A. (2008). Acute blood pressure lowering, vasoprotective, and antiplatelet properties of dietary nitrate via bioconversion to nitrite. *Hypertension*, *51*(3), 784-790. <https://doi.org/10.1161/hypertensionaha.107.103523>

- Wehbe, G., Gabbett, T. J., Hartwig, T. B., & McLellan, C. (2015). Reliability of a cycle ergometer Peak power test in running-based team sport athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *29*(7), 2050-2055.
<https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000000814>
- Wiczowski, W., Romaszko, E., Szawara-Nowak, D., & Piskula, M. K. (2018). The impact of the matrix of red beet products and interindividual variability on betacyanins bioavailability in humans. *Food Research International*, *108*, 530-538.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.04.004>
- Wilkerson, D. P., Hayward, G. M., Bailey, S. J., Vanhatalo, A., Blackwell, J. R., & Jones, A. M. (2012). Influence of acute dietary nitrate supplementation on 50 mile time trial performance in well-trained cyclists. *European Journal of Applied Physiology*, *112*(12), 4127-4134. <https://doi.org/10.1007/s00421-012-2397-6>
- Wong, D. P., Chamari, K., Dellal, A., & Wisløff, U. (2009). Relationship between anthropometric and physiological characteristics in youth soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *23*(4), 1204-1210.
<https://doi.org/10.1519/jsc.0b013e31819f1e52>
- Wong, T. H., Sim, A., & Burns, S. F. (2021). The Effect of Beetroot Ingestion on High-Intensity Interval Training: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Nutrients*, *13*(11), 3674. <https://doi.org/10.3390/nu13113674>
- Wootton-Beard, P., Brandt, K., Fell, D. A., Warner, S., & Ryan, L. (2014). Effects of a beetroot juice with high neobetanin content on the early-phase insulin response in healthy volunteers. *Journal of Nutritional Science*, *3*.
<https://doi.org/10.1017/jns.2014.7>

- Wybraniec, Z. P. B. N. A. S. P. S. W. T. R. K. R. J. T. M. S. (2009, 12 noviembre). *Influence of betalain-rich extract on reduction of discomfort associated with osteoarthritis* • *New Medicine 1/2010* • *Czytelnia Medyczna BORGIS*. Borgis Sp. z o.o.
<https://www.czytelniamedyczna.pl/3333,influence-of-betalainrich-extract-on-reduction-of-discomfort-associated-with-ost.html>
- Wylie, L. J., Kelly, J., Bailey, S. J., Blackwell, J. R., Skiba, P. F., Winyard, P. G., Jeukendrup, A. E., Vanhatalo, A., & Jones, A. M. (2013). Beetroot Juice and exercise: Pharmacodynamic and dose-response relationships. *Journal of Applied Physiology*, *115*(3), 325-336. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00372.2013>
- Yáñez-Baeza, C., Eguía, R. A., Fuentes-Barría, H., & Roco-Videla, Á. (2023). Importance of the PRISMA guideline. *Nutricion Hospitalaria*. <https://doi.org/10.20960/nh.04616>
- Yoon, J., & Baek, S. J. (2005). Molecular targets of dietary polyphenols with anti-inflammatory properties. *Yonsei Medical Journal*, *46*(5), 585.
<https://doi.org/10.3349/ymj.2005.46.5.585>
- Zhang, P., Jiao, H., Wang, C., Lin, Y., & You, S. (2019). Chlorogenic acid ameliorates colitis and alters colonic microbiota in a mouse model of dextran sulfate Sodium-Induced colitis. *Frontiers in Physiology*, *10*. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00325>
- Zielińska-Przyjemska, M., Olejnik, A., Dobrowolska, A., & Grajek, W. (2009). *In vitro* Effects of beetroot juice and chips on oxidative metabolism and apoptosis in neutrophils from obese individuals. *Phytotherapy Research*, *23*(1), 49-55.
<https://doi.org/10.1002/ptr.2535>
- Zurita-Cruz, J. N., Márquez-González, H., Novales, M. G. M., & Villasís-Keever, M. Á. (2018). Estudios experimentales: diseños de investigación para la evaluación de

intervenciones en la clínica. *Revista alergía México*, 65(2), 178-186.

<https://doi.org/10.29262/ram.v65i2.376>

Туряниця, О. (2021). Risk in professional Sports: issues and ways to solve it in the constitutional and legal field. *Naukovij visnik Užgorods'kogo nacional'nogo unìversitetu*, 66, 73-80. <https://doi.org/10.24144/2307-3322.2021.66.13>

BIBLIOGRAFÍA REVISIÓN

Cuenca, E., Jiménez, P. J., Pérez-López, A., González-Rodríguez, L. G., Da Silva, S. F., Veiga-Herreros, P., & Domínguez, R. (2018). Effects of beetroot juice supplementation on performance and fatigue in a 30-s All-Out sprint exercise: a randomized, Double-Blind Cross-Over study. *Nutrients*, 10(9), 1222. <https://doi.org/10.3390/nu10091222>

Ranchal-Sanchez, A., Diaz-Bernier, V. M., De La Florida-Villagran, C. A., Llorente-Cantarero, F. J., Campos-Pérez, J., & Jurado-Castro, J. M. (2020). Acute effects of beetroot juice supplements on resistance training: a randomized Double-Blind crossover. *Nutrients*, 12(7), 1912. <https://doi.org/10.3390/nu12071912>

Serra-Payá, N., Garnacho-Castaño, M. V., Sánchez-Nuño, S., Albesa-Albiol, L., Girabent-Farrés, M., Arcone, L. M., Fernández, A. P., García-Fresneda, A., Castizo-Olier, J., Viñals, X., Molina-Raya, L., & Bataller, M. Q. (2021). The relationship between resistance exercise performance and ventilatory efficiency after beetroot juice intake in Well-Trained Athletes. *Nutrients*, 13(4), 1094. <https://doi.org/10.3390/nu13041094>

Tan, R., Pennell, A., Price, K. M., Karl, S. T., Seekamp-Hicks, N. G., Paniagua, K. K., Weiderman, G. D., Powell, J. P., Sharabidze, L. K., Lincoln, I. G., Kim, J. M., Espinoza, M. F., Hammer, M. A., Goulding, R. P., & Bailey, S. J. (2022). Effects of

dietary nitrate supplementation on performance and muscle oxygenation during resistance exercise in men. *Nutrients*, 14(18), 3703.

<https://doi.org/10.3390/nu14183703>

Wylie, L. J., Park, J. W., Vanhatalo, A., Kadach, S., Black, M. I., Stoyanov, Z., Schechter, A. N., Jones, A. M., & Pisknová, B. (2019). Human skeletal muscle nitrate store: influence of dietary nitrate supplementation and exercise. *The Journal of Physiology*, 597(23), 5565-5576. <https://doi.org/10.1113/jp278076>

GLOSARIO

5-0-5: test de agilidad.

AMA: Agencia Mundial Antidopaje.

ATP: adenosín trifosfato.

Ca²⁺: formula química del calcio.

CaMKII: quinasa II.

CMJ: salto contramovimiento.

CO₂: dióxido de carbono.

DALDA: The Daily Analysis of Life Demands for Athletes.

EDHF: factor hiperpolarizante derivado del endotelio.

eNOS: óxido nítrico endotelial sintetasa.

ET-1: endotelina.

EV: eficiencia ventilatoria.

GpH: glucógeno y pH.

GRADE: Grading of Recommendations Assessment, Development and Assessment.

HIIT: High Interval Intensity Training.

IHS: fuerza de agarre isométrica.

iNOS: óxido nítrico inducible sintetasa.

JR: jugo de remolacha.

nNOS: óxido nítrico neuronal sintetasa.

NO: formula química óxido nítrico.

NO₂⁻: formula química del nitrito.

NO₃⁻: formula química del nitrato.

NR: no reporta.

O₂^{·-}: formula química del oxígeno.

ONOO⁻: formula química del peroxinitrito.

PCr: proteína C reactiva.

PGI₂: prostaciclina PGI₂.

PRISMA: Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses.

R. HIITS: recuperación en HIITS.

RONs: oxígeno y nitrógeno reactivo.

RPE: índice de esfuerzo percibido.

RSA: Repeated Sprint Ability.

S.ATP: síntesis de ATP.

SESD: Sistema de Estadísticas Sociodemográficas SESD.

SMS: Sport Motivation Scale.

SNC: Sistema Nervioso Central.

SVT: prueba de velocidad de servicio.

TF: tiempo de fatiga.

TR: tiempo de recuperación.

T. Sprints: tiempo de sprints.

TXA2: tromboxano.

UA: umbral de activación.

VE: eficiencia ventilatoria.

VO: velocidad de oxidación.

VO2Max: volumen máximo de oxígeno.

ANEXOS

ANEXO 1. RESUMEN DE LOS DATOS FILTRADOS

Estrategia de búsqueda						
Todas las bases de datos						
Resultado del primer filtrado (automatizado) por bases de datos.						
		PubMed	ScienceDirect	MDPI	Google Scholar	TOTAL
	Total de registros identificados	4341	58900	13495	754200	830936
	Total de registros inelegibles por herramientas de automatización	4318	58886	13461	754176	830841
	Suma de registros duplicados		34			34
	Total de registros para examinación.		61			61
Resultado de segundo filtrado manual por título y abstract						
	Criterio de exclusión.	PubMed	ScienceDirect	MDPI	Google Scholar	TOTAL
7 (Preg. #1)	Idioma	0	0	0	0	0
8 (Preg. #2)	Tipo de intervención	4	4	6	2	16
9 (Preg. #3)	Tipo de especie	0	0	0	2	2
10 (Preg. #4)	Tipo de población	2	4	8	1	15
11 (Preg. #5)	Resultados	0	0	1	0	1
12 (Preg. #6)	Evaluación de resultados	0	0	0	0	0
13 (Preg. #7)	Tipo de estudio	0	0	0	0	0
	Total de registros examinados	18	8	29	6	61
14 (suma 7-13)	Total de registros excluidos	6	8	15	5	34
15 (6-14)	Publicaciones buscadas para su recuperación.	12	0	14	1	27
Resultado del tercer filtrado por lectura del texto completo						
	Publicaciones no recuperadas	22				
17(H15-16)	Publicaciones evaluadas para decidir su elegibilidad	5				

ANEXO 2. PRIMER FILTRADO

ID	Base de datos	Título	¿Duplicado?	Idioma	Intervención	Especie	Población	Resultado	Evaluación de resultados	Tipo de estudio	Total	Estado
1	PubMed	Effects of Beetroot Juice Supplementation on Performance and Fatigue in a 30-s All-Out Sprint Exercise: A Randomized, Double-Blind Cross-Over									7	Aprobado
5	PubMed	Human skeletal muscle nitrate store: influence of dietary nitrate supplementation and exercise									7	Aprobado
15	PubMed	Inhaled nitric oxide improves ventilatory efficiency and exercise capacity in patients with mild COPD: A randomized-control cross-over trial									3	Rechazado
16	PubMed	Effects of Chronic Supplementation of L-Arginine on Physical Fitness in Water Polo Players									1	Rechazado
17	PubMed	Effects of acute nitric oxide precursor intake on peripheral and central fatigue during knee extensions in healthy men									7	Aprobado
19	PubMed	Effects of Exercise on ASC Methylation and IL-1 Cytokines in Heart Failure									1	Rechazado
20	PubMed	Dietary flavanols improve cerebral cortical oxygenation and cognition in healthy adults									1	Rechazado
21	PubMed	Impaired microvascular reactivity after eocentric muscle contractions is not restored by acute ingestion of antioxidants or dietary nitrate									3	Rechazado
23	PubMed	Resistance training improves sleep quality, redox balance and inflammatory profile in maintenance hemodialysis patients: a randomized controlled trial									1	Rechazado
24	ScienceDirect	Effects of regular aerobic exercise on vascular function in overweight or obese older adults: A systematic review and meta-analysis									1	Rechazado
28	ScienceDirect	Effects of shear stress on vascular endothelial functions in atherosclerosis and potential therapeutic approaches									1	Rechazado
29	ScienceDirect	Acute impact of aerobic exercise on local cutaneous thermal hyperaemia									1	Rechazado
31	ScienceDirect	Nitrate-responsive oral microbiome modulates nitric oxide homeostasis and blood pressure in humans									3	Rechazado
32	ScienceDirect	Dietary nitrate intake in relation to the risk of dementia and imaging markers of vascular brain health: a population-based study									3	Rechazado
33	ScienceDirect	Nitrate: The Dr. Jekyll and Mr. Hyde of human health?									3	Rechazado
35	ScienceDirect	Aerobic training and L-arginine supplement attenuates myocardial infarction-induced kidney and liver injury in rats via reduced oxidative stress									1	Rechazado
36	ScienceDirect	The effect of orally administered nitrate on renal function and blood pressure in a randomized, placebo-controlled, crossover study in healthy subjects									3	Rechazado
39	MDPI	Acute Low-Dose Hyperoxia during a Single Bout of High-Intensity Interval Exercise Does Not Affect Red Blood Cell Deformability and Muscle Oxygenation in Trained Men—A Randomized Crossover Study									1	Rechazado
40	MDPI	Nitrate Supplementation Combined with a Running Training Program Improved Time-Trial Performance in Recreationally Trained Runners									7	Aprobado
41	MDPI	Blood-Flow Restricted Warm-Up Alters Muscle Hemodynamics and Oxygenation during Repeated Sprints in American Football Players									1	Rechazado
43	MDPI	Betalain - Rich Concentrate Supplementation Improves Exercise Performance in Competitive Runners									1	Rechazado
44	MDPI	Short-Term L-Citrulline Supplementation Does Not Affect Inspiratory Muscle Oxygenation and Respiratory Performance in Older Adults									1	Rechazado
45	MDPI	Combined L-Citrulline Supplementation and Slow Velocity Low-Intensity Resistance Training Improves Leg Endothelial Function, Lean Mass, and Strength in Hypertensive Postmenopausal Women									1	Rechazado
46	MDPI	Effects of Dietary Nitrate Supplementation on Performance and Muscle Oxygenation during Resistance Exercise in Men									7	Aprobado
47	MDPI	High-Dose Nitrate Supplementation Attenuates the Increased Blood Pressure Responses to Isometric Blood Flow Restriction Exercise in Healthy Males									4	Rechazado
48	MDPI	Acute Beetroot Juice Supplementation Enhances Intermittent Running Performance but Does Not Reduce Oxygen Cost of Exercise among Recreational									7	Aprobado
49	MDPI	Feasibility and Acceptability of a Dietary Intervention to Reduce Salt Intake and Increase High-Nitrate Vegetable Consumption in Malaysian Middle-Aged and Older Adults with Elevated Blood Pressure: Findings from the DeFEC-Nutrition Trial									3	Rechazado
50	MDPI	Combined Effects of Citrulline Plus Nitrate-Rich Beetroot Extract Co-Supplementation on Maximal and Endurance-Strength and Aerobic Power in Trained Male Triathletes: A Randomized Double-Blind, Placebo-Controlled Trial									7	Aprobado
51	MDPI	The Relationship between Resistance Exercise Performance and Ventilatory Efficiency after Beetroot Juice Intake in Well-Trained Athletes									7	Aprobado
52	MDPI	Acute Supplementation with Nitrate-Rich Beetroot Juice Causes a Greater Increase in Plasma Nitrite and Reduction in Blood Pressure of Older Compared to Younger Adults									3	Rechazado
53	MDPI	Influence of Equimolar Doses of Beetroot Juice and Sodium Nitrate on Time Trial Performance in Handcycling									7	Aprobado
55	MDPI	Acute Dietary Nitrate Supplementation Improves Flow Mediated Dilatation of the Superficial Femoral Artery in Healthy Older Males									3	Rechazado
56	MDPI	The Effect of Branched-Chain Amino Acids, Citrulline, and Arginine on High-Intensity Interval Performance in Young Swimmers									1	Rechazado

ANEXO 3. SEGUNDO FILTRADO

#	Base de datos	Título	Disponibilidad	Población	Tipo de estudio	Intervención	Mecanismo de acción	Evaluación de resultados
1	PubMed	Effects of Beetroot Juice Supplementation on Performance and Fatigue in a 30-s All-Out Sprint Exercise: A Randomized, Double-Blind Cross-Over Study. Nutrients.	1	1	1	1	1	1
2	PubMed	Human skeletal muscle nitrate store: influence of dietary nitrate supplementation and exercise.	1	1	1	1	1	1
3	PubMed	Effects of acute nitric oxide precursor intake on peripheral and central fatigue during knee extensions in healthy men.	1	1	1	1	1	1
4	MDPI	Effects of Dietary Nitrate Supplementation on Performance and Muscle Oxygenation during Resistance Exercise in Men.	1	1	1	1	1	1
5	MDPI	Combined Effects of Citrulline Plus Nitrate-Rich Beetroot Extract Co-Supplementation on Maximal and Endurance-Strength and Aerobic Power in Trained Male Triathletes: A Randomized Double-Blind, Placebo-Controlled Trial.	1	1	1	1	1	1
6	MDPI	The Relationship between Resistance Exercise Performance and Ventilatory Efficiency after Beetroot Juice Intake in Well-Trained Male Triathletes: A Randomized Double-Blind, Placebo-Controlled Trial.	1	1	1	1	1	1
7	MDPI	Influence of Equimolar Doses of Beetroot Juice and Sodium Nitrate on Time Trial Performance in Handcycling.	1	1	1	1	1	1
8	MDPI	Nitrate Supplementation Combined with a Running Training Program Improved Time-Trial Performance in Recreationally Trained Runners.	1	1	1	1	1	1
9	MDPI	Beetroot Juice Produces Changes in Heart Rate Variability and Reduces Internal Load during Resistance Training in Men: A Randomized Double-Blind Crossover.	1	1	1	1	1	1
10	MDPI	Acute Effects of Beetroot Juice Supplements on Resistance Training: A Randomized Double-Blind Crossover.	1	1	1	1	1	1
11	MDPI	Effects of Beetroot Juice Ingestion on Physical Performance in Highly Competitive Tennis Players.	1	1	1	1	1	1
12	MDPI	Does Acute Beetroot Juice Supplementation Improve Neuromuscular Performance and Match Activity in Young Basketball Players? A Randomized, Placebo-Controlled Study.	1	1	1	1	1	1
13	MDPI	Acute Beetroot Juice Supplementation Enhances Intermittent Running Performance but Does Not Reduce Oxygen Cost of Exercise among Recreational Adults.	1	1	1	1	1	1
14	Google Scholar	Efecto de complementos alimenticios derivados de la remolacha en esfuerzos de resistencia.	1					

ANEXO 5. CUESTIONARIO DEL SEGUNDO FILTRADO MANUAL POR TÍTULO Y ABSTRACT

Q#	Criterio inclusión/exclusión	Pregunta
1	Idioma	¿El estudio está en el idioma inglés o español?
2	Tipo de intervención	¿La intervención es sobre el efecto que produce el óxido nítrico <u>o el jugo de remolacha</u> ?
3	Tipo de especie	¿El estudio es en humanos?
4	Tipo de población	¿El estudio se realiza con individuos que practican diferentes deportes de alta intensidad de manera frecuente?
5	Resultados	¿El estudio brinda resultados sobre el mecanismo de acción del óxido nítrico sobre la resistencia a la fatiga?
6	Evaluación de resultados	¿Los resultados de la suplementación con óxido nítrico <u>o jugo de remolacha</u> se miden mediante indicadores del perfil sanguíneo?
7	Tipo de estudio	¿El estudio es una fuente primaria: artículos de investigación científica y tecnológica en su estado original, artículos de revisión, informes y ensayos clínicos: explicativos, secuenciales (causa/efecto o efecto/causa), controlados aleatorizados, aleatorizados cruzados, aleatorizados por conglomerados, controlados no aleatorizados y no controlados?

ANEXO 6. CUESTIONARIO DEL TERCER FILTRADO MANUAL POR TEXTO COMPLETO.

Q#	Criterio inclusión/exclusión	Pregunta
1	Disponibilidad	¿El artículo se encuentra en su versión completa?
2	Tipo de población	¿El estudio se realiza en individuos que utilizaron como estrategia de suplementación óxido nítrico sintético o de origen natural (jugo de remolacha)?
3	Tipo de estudio	¿En el estudio se realiza un análisis comparativo de manera colectiva?
4	Protocolo de intervención	¿Se utiliza un protocolo definido durante todo el proceso de suplementación?
5	Ausencia del mecanismo de acción	¿Se reporta en la investigación el mecanismo de acción del óxido nítrico sobre la resistencia a la fatiga?
6	Evaluación de resultados	¿Se evalúa el rendimiento deportivo tras la suplementación mediante pruebas físicas?

ANEXO 7. DECLARACIÓN JURADA

DECLARACIÓN JURADA

Yo Daniela M^a González Montoya_ cédula de identidad número 1-1565-0985_, en condición de egresado de la carrera de Nutrición_ de la Universidad Hispanoamericana, y advertido de las penas con las que la ley castiga el falso testimonio y el perjurio, declaro bajo la fe del juramento que dejo rendido en este acto, que mi trabajo de graduación, para optar por el título de Licenciatura en Nutrición_ titulado Efecto del consumo de óxido nítrico derivado del jugo de remolacha sobre la resistencia a la fatiga y su mecanismo de acción en deportes de alta intensidad_, es una obra original y para su realización he respetado todo lo preceptuado por las Leyes Penales, así como la Ley de Derechos de Autor y Derecho Conexos, número 6683 del 14 de octubre de 1982 y sus reformas, publicada en la Gaceta número 226 del 25 de noviembre de 1982; especialmente el numeral 70 de dicha ley en el que se establece: "Es permitido citar a un autor, transcribiendo los pasajes pertinentes siempre que éstos no sean tantos y seguidos, que puedan considerarse como un una producción simulada y sustancial, que redunde en perjuicio del autor de la obra original". Asimismo, que conozco y acepto que la Universidad se reserva el derecho de protocolizar este documento ante Notario Público.

Firmo, en fe de lo anterior, en la ciudad de San José (lugar en el que se encuentra la sede de la Universidad donde presentará el trabajo), el 19 de septiembre de 2023_.

Daniela González Montoya  _____

1-1565-0985

Firma

ANEXO 8. CARTAS DE APROBACIÓN

CARTA DE TUTOR

Alajuela, 11 de noviembre del 2023

Hillary Fonseca Castillo
Encargada de Tesis
Carrera de Nutrición
Universidad Hispanoamericana

Estimada Señora:

La estudiante Daniela González Montoya cédula de identidad número 1 1565 0985, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación "EFECTO DEL CONSUMO DE ÓXIDO NÍTRICO DERIVADO DEL JUGO DE REMOLACHA SOBRE LA RESISTENCIA A LA FATIGA Y SU MECANISMO DE ACCIÓN EN DEPORTES DE ALTA INTENSIDAD", el cual ha elaborado para optar por el grado de Licenciatura en Nutrición.

He verificado que se han incluido las observaciones y hecho las correcciones indicadas, durante el proceso de tutoría y he evaluado los aspectos relativos a la elaboración del problema, objetivos, justificación: antecedentes, marco teórico, marco metodológico, tabulación, análisis de datos, conclusiones y recomendaciones

Los resultados obtenidos por el postulante implican la siguiente calificación

a)	Originalidad del tema	10	9
b)	Cumplimiento de entrega de avances	20	16
c)	Coherencia entre los objetivos, los instrumentos aplicados y los resultados de la investigación	30	27
d)	Relevancia de las conclusiones y recomendaciones	20	19
e)	Calidad, detalle del marco teórico	20	18
	TOTAL		89

Por consiguiente, se avala el traslado de la tesis al proceso de lectura

Atentamente,



COO 820-11.

Dra. Paula Delgado Valverde, Nutricionista

Cédula de Identidad 113040072

Carné Colegio Profesional 820-11

19 diciembre, 2023

Departamento de registro
Carrera de Nutrición
Universidad Hispanoamericana

Estimados señores:

Por este medio hago constar, en mi calidad de lector de la carrera de Nutrición, que he revisado de forma detallada el documento de Tesis para optar por el grado académico de Licenciatura en Nutrición de la estudiante DANIELA GONZÁLEZ MONTOYA, titulado **EFFECTO DEL CONSUMO DE ÓXIDO NÍTRICO DERIVADO DEL JUGO DE REMOLACHA SOBRE LA RESISTENCIA A LA FATIGA Y SU MECANISMO DE ACCIÓN EN DEPORTES DE ALTA INTENSIDAD: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA, COSTA RICA, 2023**. El documento cuenta con las características y condiciones de una modalidad de graduación, razón por la cual lo doy como aprobado, dando el visto bueno para continuar con las siguientes fases del proceso.

Atentamente,



Lic. Andrea Calvo Castillo

Cédula de identidad: 1 1532 0053

Carné Colegio Profesional: 2906-20



**UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA
CENTRO DE INFORMACION TECNOLOGICO (CENIT)
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA, LA
REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA
DE LOS TRABAJOS FINALES DE GRADUACION**

San José, miércoles, 21 de febrero de 2024.

Señores:
Universidad Hispanoamericana
Centro de Información Tecnológico (CENIT)

Estimados Señores:

El suscrito (a) Daniela González Montoya, con número de identificación 1-1565-0985, autor (a) del trabajo de graduación titulado **EFFECTO DEL CONSUMO DE ÓXIDO NÍTRICO DERIVADO DEL JUGO DE REMOLACHA SOBRE LA RESISTENCIA A LA FATIGA Y SU MECANISMO DE ACCIÓN EN DEPORTES DE ALTA INTENSIDAD**, presentado y aprobado en el año 2024 como requisito para optar por el título de **Licenciatura en Nutrición**, SÍ / NO autorizo al Centro de Información Tecnológico (CENIT) para que con fines académicos, muestre a la comunidad universitaria la producción intelectual contenida en este documento.

De conformidad con lo establecido en la Ley sobre Derechos de Autor y Derechos Conexos N° 6683, Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica.

Cordialmente,

Daniela González Montoya
1-1565-0985

**ANEXO 1 (Versión en línea dentro del Repositorio)
LICENCIA Y AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA PUBLICAR Y
PERMITIR LA CONSULTA Y USO**

Parte 1. Términos de la licencia general para publicación de obras en el repositorio institucional

Como titular del derecho de autor, confiero al Centro de Información Tecnológico (CENIT) una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

- a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, el autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad por escrito.
- b) Autoriza al Centro de Información Tecnológico (CENIT) a publicar la obra en digital, los usuarios puedan consultar el contenido de su Trabajo Final de Graduación en la página Web de la Biblioteca Digital de la Universidad Hispanoamericana
- c) Los autores aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.
- d) Los autores manifiestan que se trata de una obra original sobre la que tienen los derechos que autorizan y que son ellos quienes asumen total responsabilidad por el contenido de su obra ante el Centro de Información Tecnológico (CENIT) y ante terceros. En todo caso el Centro de Información Tecnológico (CENIT) se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.
- e) Autorizo al Centro de Información Tecnológica (CENIT) para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.
- f) Acepto que el Centro de Información Tecnológico (CENIT) pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.
- g) Autorizo que la obra sea puesta a disposición de la comunidad universitaria en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en las “Condiciones de uso de estricto cumplimiento” de los recursos publicados en Repositorio Institucional.

SI EL DOCUMENTO SE BASA EN UN TRABAJO QUE HA SIDO PATROCINADO O APOYADO POR UNA AGENCIA O UNA ORGANIZACIÓN, CON EXCEPCIÓN DEL CENTRO DE INFORMACIÓN TECNOLÓGICO (CENIT), EL AUTOR GARANTIZA QUE SE HA CUMPLIDO CON LOS DERECHOS Y OBLIGACIONES REQUERIDOS POR EL RESPECTIVO CONTRATO O ACUERDO.