



Consumo de remolacha (*Beta vulgaris*): composición y efectos en la salud

Beet root (*Beta vulgaris*) consumption:
composition and health effects

MARÍA EUGENIA ACOSTA MARACAY ¹, EDUARDO ROMERO VECCHIONE ²

Resumen

La remolacha (*Beta vulgaris*), es una hortaliza de color rojo-violeta o amarillo, que contiene diferentes pigmentos fotoquímicos que pertenecen a la clase betalaina, cuyo principal compuesto es la betacianida (color rojo - violeta) que representa el 75-95% y que se caracteriza por ser antioxidante. La remolacha contiene además nitrato inorgánico (NO₃) que al ser ingerido se transforma en el organismo a nitrito reducido (NO₂) de manera parcial por el pH ácido gástrico través de mecanismos no enzimáticos. Posteriormente, el remanente de NO₂ es absorbido en el intestino a niveles bajos de oxígeno para convertirse en óxido nítrico (NO), el cual cumple diferentes funciones fisiológicas, entre las cuales destacan en la vasodilatación arterial, reducción de la fatiga muscular, facilitación del transporte de oxígeno (O₂) y sustratos energéticos a los músculos, mejoramiento de la resistencia y el rendimiento deportivo en los atletas. Adicionalmente se le han descrito propiedades terapéuticas como anticancerígeno, antiagregante plaquetario, antihipertensivo y en la reducción de los calambres nocturnos en pacientes con problemas cardiovasculares.

Palabras clave: Remolacha, betalana, nitratos, óxido nítrico

Abstract

Beetroot (*Beta vulgaris*), is a red-violet or yellow vegetable, containing several pigments of the betalain phytochemical class, the main pigment is beta-cyanide (red-violet color) representing 75-95% of all pigments and is characterized by its antioxidant properties. Another important chemical contained in beetroot is inorganic nitrate (NO₃), which after ingestion is transformed to nitrite (NO₂), and then partially reduced by gastric acid pH through non-enzymatic mechanisms. Subsequently, the remnant NO₂ is absorbed in the intestine at low oxygen levels and transformed to nitric oxide (NO), which fulfills different physiological functions in humans, like vasodilation, reduction of muscle fatigue, facilitation of oxygen transport and energy substrates to muscles, and improving endurance and performance in athletes; additionally, it has been described to have anticancer, antiplatelet, antihypertensive therapeutic activity and reduction of night cramps in patients with cardiovascular diseases.

Keywords: Beetroot, betalain, nitrates, nitric oxide

1. Cátedra Biológicas Aplicadas. Facultad de Farmacia Universidad Central de Venezuela (UCV). Correspondencia: mariuacosta0103@gmail.com. Orcid: [0000-0003-0721-0046](https://orcid.org/0000-0003-0721-0046)
2. Laboratorio de Estudios Cardiovasculares, Escuela de Medicina José María Vargas. Facultad de Medicina. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela. Orcid: [0000-0003-1287-9473](https://orcid.org/0000-0003-1287-9473)

DOI: [10.54305/RFFUCV.2022.85.1-2.8](https://doi.org/10.54305/RFFUCV.2022.85.1-2.8)

Disponible: http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_ff

Recepción: 17/03/2022

Aprobación: 16/05/2022

Rev. Fac. Farmacia 85(1y2): 80-90. 2022

Introducción

El desbalance óxido – reducción (REDOX) entre la producción de especies reactivas de oxígeno (ERO) y especies reactivas de nitrógeno (ERN), como el anión superóxido (O_2^-), radical hidroxilo (-OH) y el radical peroxilo (ONOO-) median la producción de radicales libres a través de la reacción de Fenton (Pedraza y col., 2006). Entre las alteraciones producidas por estas especies reactivas se ha descrito el daño a la membrana lipídica (por peroxidación lipídica), a las proteínas (por S-nitrosilación) y al DNA (por oxidación de nucleótidos) (Wootton-Beardy Ryan, 2011).

Este desbalance y alteraciones consiguientes puede inducir a la aparición de numerosas enfermedades inflamatorias, como el cáncer, enfermedades neurodegenerativas y enfermedades cardiovasculares, las cuales representan un problema de salud pública por ser la primera causa de muerte mundial (Valcárcel, 2014)

Existen compuestos que regulan la producción de especies reactivas como los antioxidantes, tanto endógenos como exógenos, principalmente los flavonoides, polifenoles, el ácido ascórbico, las betalaínas y otros compuestos fitoquímicos presentes en la pulpa de la remolacha (Vulic y col., 2013).

La remolacha (*Beta vulgaris*), está clasificada dentro de la familia *Chenopodiaceae*, cuya zona bulbar puede ser de color rojo o amarillo; las remolachas de color rojo son la de mayor consumo humano, especialmente en Europa, bajo la presentación cocida, cruda, en polvo y en jugos (Casierra y Correa, 2011). Está compuesta por diferentes pigmentos que pertenecen a la clase betalaína, siendo

el principal colorante la betacianida (de color rojo - violeta) representando el 75-95% del total de las sustancias, las cuales son: betanina (Figura 1), isobetanina, probetanina y neobetanina, caracterizadas por ser antioxidantes y tener en su estructura química nitrógeno (N). La otra parte está compuesta por cantidades menores de betaxantina (color amarillo) y los productos de degradación de betalaína (color marrón claro) (Casierra y Correa, 2011).

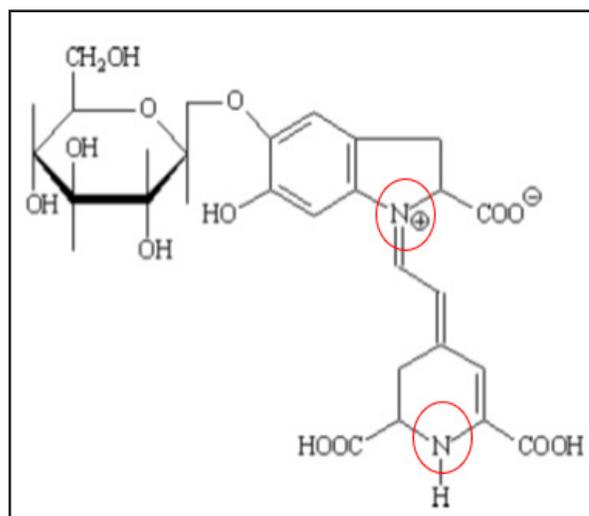


Figura 1. Estructura química Betanina ($C_{24}H_{26}N_2O_{13}$)

El pigmento rojo – violeta (betacianida), es soluble en agua y es estable a pH entre 3 y 7 y se utiliza para mejorar el color rojo de las pastas de tomate, salsas, sopas, mermeladas, helados, dulces y diversos cereales (Roy y col., 2004).

Adicionalmente a los compuestos ya citados, la remolacha contiene productos fenólicos: catequinas, epicatequinas, ferúlicos, protocatequinas, vallinicas, p-coumarina, p-hidroxibenzoicos, cafeína y ácido siríngico, que se caracterizan por poseer importantes propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, hepatoprotectoras y antitumorales (Vulic y col., 2013).

La remolacha contiene altos niveles de antioxidantes biológicamente accesibles, así como otros componentes que promueven la salud como: potasio, magnesio, ácido fólico, hierro, zinc, calcio, fósforo, sodio, niacina, biotina, vitamina B6 y fibra soluble (Wootton-Beard y Ryan, 2011). Adicionalmente, consumir remolacha en sus distintas presentaciones (polvo, mezclas, jugos, concentrados) es beneficioso para la salud por la cantidad elevada de nitrato inorgánico (NO_3^-) un precursor del óxido nítrico (NO).

Entre los fármacos que aumentan el NO se encuentra el sildenafil y otros inhibidores de la fosfodiesterasa V, el aminoácido L-arginina y el NO inhalado y como fue mencionado anteriormente, uno de los alimentos que aumentan el NO es la remolacha, que ha sido usada para restaurar alteraciones fisiopatológicas que se presentan en enfermedades cardiovasculares y respiratorias, tal es el caso de su uso en dolor torácico y angina de pecho que se presentan en secuela post COVID-19 (Gluckman y col., 2022).

El NO es una molécula gaseosa lábil, constituye la molécula de señalización más pequeña que se conoce, con capacidad para penetrar las membranas celulares por difusión y ejercer su actividad biológica. Presenta un electrón desapareado en la última capa y una vida media de 4 a 8 segundos en medio acuoso oxigenado. La versatilidad química del NO provee mecanismos antioxidantes contra las EROs y las ERN, a través de interacciones radical-radical y metal-ligando (Wink y col., 2001; Goncalves y col., 2011).

El NO es producido de forma endógena por tres isoformas de la enzima sintasa del óxido nítrico (SON), que cataliza la síntesis

de NO a partir del aminoácido L-arginina y oxígeno molecular y que requieren cofactores como la nicotinamida-adenina-dinucleótido fosfato reducido (NADPH), flavina adenina dinucleótido (FAD), flavina mononucleótido (FMN) y (6R-)5,6,7,8-tetrahidrobiopterina (BH(4)). Todas las SON se unen a la calmodulina y contienen hemo. En los mamíferos se expresan por tres distintos genes, que codifican tres isoformas: la SON neuronal (SONn gene localizado en el cromosoma 12, que codifica para SON1), la SON inducible (SONi gene localizado en el cromosoma 17, que codifica para SON2) y la SON endotelial (SONe gene localizado en el cromosoma 7, que codifica SON3) (Förstermann y Sessa, 2012).

La SON1 se expresa constitutivamente en neuronas centrales y periféricas y en algunos otros tipos de células. Sus funciones incluyen la plasticidad sináptica en el sistema nervioso central (SNC), la regulación central de la presión arterial, la relajación del músculo liso y la vasodilatación a través de los nervios nitrérgicos periféricos. La SON2 se puede expresar en muchos tipos de células en respuesta a lipopolisacáridos, citoquinas u otros agentes. La SON inducible genera grandes cantidades de NO que tienen efectos citostáticos sobre las células diana parasitarias. El NO es requerido para la activación y migración de macrófagos y en condiciones de infección, debido a que el NO es liberado por las células inmunes que presentan actividad antimicrobiana citotóxica. La SON inducible contribuye a la fisiopatología de las enfermedades inflamatorias y el shock séptico. Mientras que la SON3 se expresa principalmente en las células endoteliales. El NO difunde fácilmente desde las células endoteliales a las células del músculo liso de la pared

vascular y allí estimula la guanilciclase (GC), enzima que cataliza la formación de monofosfato de guanosina cíclico (GMPc) a partir de GTP; el GMPc desencadena la vasodilatación y de esta forma el NO regula el flujo sanguíneo en respuesta al estrés, ejercicio físico, y la acción de moléculas circulantes como la bradiquinina o la acetilcolina (Martín-Agustín y Sánchez-Medina, 2004). El NO mantiene los vasos sanguíneos dilatados, controla la presión arterial y tiene muchos otros efectos vasoprotectores y antiateroscleróticos. Muchos factores de riesgo cardiovascular provocan estrés oxidativo, desacoplamiento de la SONE y disfunción endotelial. Sin embargo, es de hacer notar que el NO es una molécula con acciones pleiotrópicas, entre ellas, su acción como antiagregante plaquetario (Förstermann y Sessa, 2012; Keshety Erez, 2018).

Anteriormente, se pensaba que el único mecanismo de producción de NO era a través de la arginina, por vía endógena; sin embargo, investigaciones recientes indican la existencia de una alternativa endógena en la formación de NO, a través del consumo de alimentos que contienen NO_3^- , el cual actúa como precursor del NO. Entre estos alimentos se hallan los vegetales de hojas verdes como la espinaca, repollo, lechuga, hinojo, brócoli, así como vegetales y jugos de frutas como zanahoria, granada y especialmente el jugo de remolacha; además de encontrarse en otras presentaciones de este vegetal (López y col., 2020; Domínguez y col., 2018).

La actividad física extrema incrementa el consumo de O_2 entre 100 – 200 veces debido al aumento del metabolismo corporal; las contracciones musculares causan a su vez aumento en la producción de EROs. Cuando

los radicales libres exceden la defensa antioxidante, se produce la peroxidación lipídica y el daño a la organización de la membrana celular, resultando en la producción de malondialdehído (MDA) que es un indicador usado para determinar la cantidad de radicales libres en plasma durante la práctica de deportes extremos y en estados patológicos. Cuando el MDA aumenta, los niveles de los antioxidantes catalasa (CAT) y glutatión peroxidasa (GPx) disminuyen, al igual que las concentraciones de los iones zinc (Zn) y cobre (Cu). Una alternativa natural para disminuir los niveles de MDA es la utilización de la remolacha como ingrediente activo en la dieta de los atletas (Hasibuan y col., 2019).

MECANISMO DE PRODUCCIÓN DE NO (VÍA EXÓGENA)

Como ya se ha expresado a lo largo del texto, la remolacha contiene dentro de su composición nitratos inorgánicos (NO_3^-), un compuesto que se encuentra naturalmente en vegetales y en carnes procesadas, donde se usa como conservante. Una vez ingerida la remolacha en sus diferentes presentaciones, el 25% NO_3^- se reduce a nitrito (NO_2^-) por la acción de las bacterias anaerobias presentes en la cavidad oral, mediada por la enzima nitrato reductasa. Luego en el estómago es convertido a NO, mediante la acción de la secreción gástrica y por medio de un mecanismo no enzimático que requiere pH ácido. Este mecanismo fisiológico depende de la circulación entero-salivar del nitrato inorgánico sin involucrar la actividad de la SONE. El nitrato y el nitrito remanente se absorben desde el intestino delgado hacia la circulación a bajos niveles de presión de oxígeno O_2 y puede convertirse en NO bioactivo en los tejidos y la sangre en condiciones de hipoxia fisiológica (Figura 2) (Domínguez y col., 2017 y 2018).

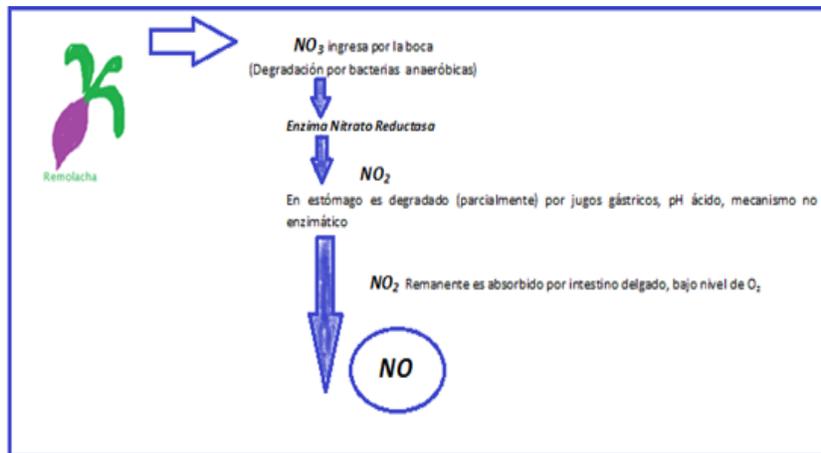


Figura 2. Mecanismo de producción de NO (vía exógena) (Adaptado de Domínguez y col., 2017)

FUNCIONES FISIOLÓGICAS DEL NO

El NO presenta numerosas funciones fisiológicas y hemodinámicas necesarias para las actividades diarias del ser humano. Entre las funciones fisiológicas del NO destacan:

1. Inhibición de la producción de ATP que activa la vía anaeróbica o fosfógeno, un sistema de energía a corto plazo que funciona principalmente al inicio de la actividad muscular intensa, causando una disminución en la producción de O₂ (Conger y col., 2021). El sistema de fosfógenos se encarga de reponer este átomo del grupo fosfato perdido a partir de la fosfocreatina almacenada en el músculo.
2. Reducción de las reservas de fosfocreatina (PCr) durante el ejercicio. La PCr en el músculo esquelético tiene un papel clave en la generación rápida del ATP durante el ejercicio. Los niveles musculares de PCr pueden agotarse casi completamente después del ejercicio máximo y esto contribuye a una reducción rápida en la producción de potencia muscular durante dicho ejercicio. La recuperación de la capacidad de
3. Mejoría en la eficiencia de la respiración mitocondrial y de la eficiencia de la fosforilación oxidativa mitocondrial. En efecto, existe evidencia acerca de los efectos positivos de la suplementación con nitrato tanto en la eficiencia mitocondrial como en la función contráctil del músculo (Larsen y col., 2011; Hernández y col., 2012). Larsen y col., en 2011, en 14 voluntarios sanos que fueron sujetos por 3 días a la generación de potencia muscular después de un ejercicio máximo hasta la fatiga está íntimamente relacionada con la resíntesis de la PCr muscular a través de la fosforilación oxidativa. La resíntesis de PCr puede verse afectada por el NO. La resíntesis de PCr se determina a través del flujo sanguíneo muscular local y el aporte de O₂ al músculo esquelético. La acidosis resultante de la acumulación de H⁺ inhibe la fosforilación oxidativa y puede limitar el suministro de ATP en el músculo en ejercicio. Un entorno acidificado podría aumentar la disponibilidad de NO a partir de NO₂⁻ durante el trabajo intenso del músculo esquelético (Garnacho-Castaño y col., 2020).

- suplementación con nitrato y ejercicio submáximo, demostraron la reducción de la expresión de translocasa de nucleótido de adenina (TNA), una proteína involucrada en la conductancia de protones mitocondriales, lo que redujo la respiración de fuga y mejoró la eficiencia de la fosforilación oxidativa. Se ha sugerido que la suplementación con nitrato podría dar como resultado una mayor inhibición del citocromo C oxidasa por el NO, lo que podría ser detectado por la célula como una hipoxia leve, iniciando mecanismos de señalización que dan como resultado una regulación a la baja de la TNA y una mayor eficiencia mitocondrial.
4. El NO regula la liberación de calcio desde el retículo sarcoplásmico del músculo esquelético. El óxido nítrico modula la contractilidad del músculo esquelético. Por ejemplo, la exposición de tiras de músculo de diafragma de rata al nitroprusiato de sodio, un donador de NO, reduce la generación de fuerza submáxima. La generación de NO por los músculos esqueléticos se ve reforzada por la actividad contráctil. Los efectos inhibitorios del NO sobre la producción de la fuerza de contracción podrían resultar de la interferencia que ejerce el NO sobre la regulación de la concentración intracelular de Ca^{2+} ($[\text{Ca}^{2+}]_i$), posiblemente en el retículo sarcoplásmico. En células intactas, la $[\text{Ca}^{2+}]_i$ depende factores como la liberación de Ca^{2+} desde el retículo sarcoplásmico, la recaptación y la amortiguación intracelular de Ca^{2+} , factores que a su vez podrían modificarse diferencialmente por el NO. En el músculo esquelético, el Ca^{2+} se libera del RS a través de los canales del receptor de rianodina (RyR). Se ha demostrado que los toiles hiperreactivos presentes en el canal RyR son reguladores de la probabilidad de apertura de este canal. Existe evidencia que indica que, en el músculo esquelético, el NO aumenta la probabilidad de apertura del canal RyR en ausencia de un agonista de RyR. Sin embargo, otros estudios sugieren que el NO reduce la liberación de Ca^{2+} mediada por el canal RyR en vesículas activadas por cafeína (Heunks y col., 2001).
 5. Disminución de la fatiga muscular asociada a ejercicios de alta intensidad, además de promover la regeneración muscular post-ejercicio (Domínguez y col., 2018).
 6. Vasodilatación. En efecto, el grado de contracción o relajación de las células del músculo liso vascular caracteriza el tono vasomotor general, que regula el nivel de presión arterial local y distribuye el flujo de acuerdo con las necesidades metabólicas. El NO tiene un efecto vasodilatador que está mediado por la generación de GMPc. El GMP cíclico y el AMP cíclico son los principales segundos mensajeros en la relajación de las células del músculo liso. El NO se une a la guanililciclase soluble, que convierte el GMP en GMP cíclico. El NO puede relajar la célula del músculo liso solo en presencia de un tono contráctil preexistente. Por el contrario, la ausencia de NO mejora el tono contráctil preexistente (Michel, 1998).
 7. Facilitación del transporte de oxígeno y los sustratos energéticos a los músculos Y promoción del intercambio gaseoso. El NO es conocido por su capacidad para mejorar el rendimiento al aumentar el

flujo sanguíneo al tejido muscular. El aumento en el flujo sanguíneo trae más nutrientes esenciales y oxígeno a los músculos que trabajan mientras elimina simultáneamente los desechos metabólicos, mejorando así la función muscular y la resistencia. La utilización de oxígeno es una función compleja que implica 1) la capacidad de transporte de oxígeno de la hemoglobina, 2) el flujo sanguíneo, 3) la extracción de oxígeno por la célula, y 4) su consumo, predominantemente por las mitocondrias. El NO integra estas funciones ya que se libera de la hemoglobina y la SONE en respuesta a la hipoxia, mejorando así el flujo sanguíneo, y actúa como un freno a nivel de las mitocondrias. La fuente de NO que regula el consumo de oxígeno mitocondrial en el músculo esquelético no está del todo claro, pero la evidencia apunta a acciones concertadas de SONE en las células endoteliales microvasculares y las enzimas SONn y SONE localizadas dentro del propio músculo (Stamler y Meissner, 2001).

8. Participación en la expresión de genes, debido a que el NO tiene múltiples blancos moleculares ya que no solo puede influir directamente en la actividad de los factores de transcripción, sino que también modula las cascadas de señalización aguas arriba, la estabilidad y la traducción del ARNm, así como el procesamiento de los productos génicos primarios (Bodgan, 2001).
9. Aumento del proceso de biogénesis. En 2003, se demostró por primera vez que el NO endógeno producido a dosis bajas por la SONE promueve

la biogénesis mitocondrial en varias células y tejidos. Desde entonces, la SONE y la señalización del NO aguas abajo se consideran como los principales determinantes metabólicos en la regulación de la biogénesis mitocondrial (Scarpulla, 2008). Se ha establecido que la biogénesis mitocondrial inducida por NO requiere del GMPc. Como consecuencia de la producción de NO-GMPc, se inducen factores clave de transcripción de biogénesis mitocondrial codificados nuclearmente (incluido el factor respiratorio nuclear 1 y el factor de transcripción mitocondrial A), los niveles de ADN mitocondrial (ADNmt) aumentan y la función mitocondrial se activa (Nisoli y col., 2003, 2004).

Todas estas funciones fisiológicas han llevado a que numerosos atletas utilicen continuamente suplementos nutricionales o sustancias no-dopaje para mejorar la resistencia y el rendimiento en sus prácticas deportivas, sin llegar a cometer incumplimientos de las leyes que rigen el deporte respectivo y las que establece la Agencia Mundial de Antidopaje (*The World Anti-Doping Agency, WADA*)

De acuerdo con el Colegio Americano del Deporte (*The American College of Sports Medicine, ACSM*) y la Academia de Nutrición y Dietética (*Academy of Nutrition and Dietetics, AND*), los suplementos nutricionales deben ser ajustados en relación con el ejercicio que se practique con la finalidad de mejorar el rendimiento del atleta (Thomas y col., 2016). A su vez, el Instituto del Deporte de Australia (Australian Institute of Sports, AIS) clasifica los ingredientes y suplementos dietéticos para atletas en cuatro grupos (Categorías

A-D), tomando en cuenta la seguridad, legalidad y efectividad en el ejercicio. La Categoría A incluye ingredientes en alimentos y suplementos que pueden mejorar la capacidad del ejercicio, entre ellos, el jugo de la remolacha (Kurowska y col., 2021; Maughan y col., 2018; Serra-Payá y col., 2021). Adicionalmente, el NO almacenado en el tejido muscular, bajo condiciones ácidas e hipóxicas durante el ejercicio explican el beneficio potencial en los atletas, en términos de mejorar la capacidad y la resistencia (Piknova y col., 2015, Olsson y col., 2019). Sin embargo, Daab y col. (2021) al evaluar el efecto del jugo de remolacha (sobre la cinética de recuperación del rendimiento físico, el daño muscular y el dolor muscular percibido después de un partido de fútbol simulado en jugadores de fútbol, demostraron que los niveles de la enzima lactato deshidrogenasa (LDH) y la Proteína C Reactiva (PCR), marcadores de daño muscular e inflamación, alcanzaron su punto máximo inmediatamente y durante el período de recuperación. Pero, no se observaron diferencias significativas en estos marcadores al comparar el grupo placebo y el tratado con el jugo de remolacha; lo que sugieren que la suplementación con jugo de remolacha parece no ser beneficiosa para reducir los biomarcadores químicos de daño muscular e inflamación.

Las cantidades de jugo de remolacha que deben ser ingeridas antes del ejercicio (2,5 – 3 h) son de 250 a 500 mL y en el rango de 3 a 6 días (70 mL diarios) los estudios realizados en jugadores de basquetbol indican que mejoraron la resistencia neuromuscular (López y col., 2020). Resultados similares fueron obtenidos en dieciocho revisiones sistemáticas, las cuales

concluyeron que el jugo de remolacha, rico en NO_3^- , contribuye a un incremento de la concentración de NO_2^- en plasma que produce una disminución del índice de fatiga muscular (Serra-Payá y col., 2021).

El Instituto de Investigación de Cáncer Mundial (en sus siglas en inglés, WCR) y la Agencia Internacional de Investigación del Cáncer (en sus siglas en inglés, IARC), observaron que el consumo de NO_3^- en los vegetales y frutas está correlacionado con un bajo riesgo de desarrollo de cáncer, como resultado de su alto contenido en compuestos bioactivos, especialmente, antioxidantes. La IARC estableció que un alto consumo de jugo de remolacha (toxicidad crónica) ocasiona la formación del compuesto tóxico ácido nitroso (2HNO_2) en la orina. Sin embargo, este compuesto es reducido a óxido nítrico (NO) por la presencia de Vitamina C contenida igualmente en la remolacha (IARC, 2010).

Adicionalmente, el consumo agudo de jugo de remolacha restaura los niveles de presión arterial en pacientes normotensos e hipertensos, debido a la reducción de la presión sistólica y diastólica, considerando una reducción de la presión arterial sistólica de unos 5 mmHg (Wyllie y col., 2013; Siervo y col., 2013; Bahadoran y col., 2017), lo que podría disminuir el riesgo de mortalidad en un 14% y la mortalidad por enfermedades cardiovasculares a un 9%. Efectivamente, se ha demostrado que el jugo de remolacha, cuando se administra a voluntarios sanos normotensos, de 57-71 años, produce un aumento agudo de los niveles plasmáticos de NO_3^- y NO_2^- , alcanzando el máximo en 3 horas y volviendo a los valores basales en 6 horas, esto acompañado de una disminución de la presión arterial sistólica y diastólica de 7,9 y 5,7 mmHg,

respectivamente (Raubenheimer y col., 2017). En pacientes hipertensos, una cantidad similar de jugo de remolacha administrada durante 4 semanas redujo la PAS, PAD y la rigidez arterial (Kapil y col., 2015). Sin embargo, se han reportado resultados contradictorios ya que la administración de la forma cocida de remolacha, durante 4 semanas, no disminuyó la presión arterial, ni en pacientes posmenopáusicas ni en hipertensos (Bondonno y col., 2015; Romero-Vecchione y col., 2020). Es por lo que se debe seguir ensayando en personas con riesgo cardiovascular de diverso grado que consumen jugo de remolacha en altas cantidades a fin de evaluar su tolerancia, seguridad y balance riesgo-beneficio.

Finalmente, es conocido que los pacientes con calambres nocturnos de las piernas se quejan del dolor intenso que esta patología produce, con alteración del ritmo de sueño y deterioro de la calidad de vida. Al respecto, Romero-Vecchione y col. (2020) demostraron en pacientes postmenopáusicas o con hipertensión que sufrían calambres nocturnos, que la terapia complementaria de remolacha cocida al vapor, ingerida durante la comida de la noche, por cuatro semanas, disminuyó en un 50-100 % la frecuencia de los calambres y mejoró concomitantemente la calidad del sueño. Estos hallazgos sugieren que la ingesta de remolacha cocida durante la cena es aparentemente un suplemento dietético eficaz y seguro para el alivio de los calambres nocturnos de las piernas en pacientes postmenopáusicas y en hipertensos, ambas patologías que se sabe que tienen en común la disfunción endotelial. Sin embargo, es necesario un estudio controlado y aleatorizado con remolacha cocida, en jugo, o deshidratada

en cápsulas, para establecer con precisión el porcentaje de eficacia de este suplemento dietético en el control de los calambres nocturnos en las piernas.

Conclusión

Es evidente el beneficio potencial de la ingesta de remolacha en sus diferentes presentaciones, principalmente en jugo, por los componentes bioactivos que contiene, en particular el contenido de NO₃ que por vía exógena promueve la producción de NO. Sería útil educar a la población acerca del consumo de remolacha y sus efectos beneficiosos.

Se requieren nuevas líneas de investigación para evaluar los mecanismos fisiológicos que relacionen los efectos del NO con la función pulmonar y cardiovascular, así como el rendimiento de atletas en ejercicio de alta intensidad para mejorar su resistencia y eficiencia deportiva.

Referencias Bibliográficas

- Bahadoran Z, Mirmiran P, Kavir A, Azizi F, Ghasemi A. 2017. The nitrate – independent blood pressure – lowering. Effect of beetroot juice: A systematic review and meta-analysis. *Adv Nutr* 8: 830-838.
- Bogdan C. 2001. Nitric oxide and the regulation of gene expression. *Trends Cell Biol* 11(2):66-75.
- Bondonno C P, Liu AH, Croft K D, Ward N C, Shinde S. 2015. Absence of an effect of high nitrate intake from beetroot juice on blood pressure in treated hypertensive individuals: a randomized controlled trial. *Am J Clin Nutr* 102: 368-375.
- Casierra-Posada F, Pinto-Correa JR. 2011. Crecimiento de plantas de remolacha (*Beta vulgaris L. var. Crosby Egipcia*) bajo coberturas de color. *Rev Fac Nac Agron Medellín* 64(2): 6081-6091.
- Chaudhary S, Singh N. 2020. Coloring of food by the use of natural color extracted by beetroot (*Beta vulgaris*), betalain pigment. *Sustainable Agri-Food Environm Res* 8: 1-6.

- Conger S, Zamzow C, Darnell M. 2021. Acute beet juice supplementation does not improve 30 or 60-second maximal intensity performance in anaerobically trained athletes. *Int J Exerc Sci* 14(2): 60-75.
- Daab W, Amine M, Lairi M, Bouchiba M, Ali Saafi M, Rebai H. 2021. Chronic beetroot juice supplementation accelerates recovery kinetics following simulated match play in soccer players. *J Am Coll Nutri* 40 (1): 61-69.
- Domínguez R, Cuenca E, Maté-Muñoz JL, García-Fernández P, Serra-Paya N, Lozano Estevan MC, Herreros P, Garnacho-Castaño MV. 2017. Effects of beetroot juice supplementation on cardiorespiratory endurance in athletes. A systematic review. *Nutrients* 9(43):1-18.
- Domínguez R, Maté-Muñoz JL, Cuenca E, García-Fernández P, Mata-Ordoñez F, Lozano-Estevan MC, Veiga-Herreros P, da Silva SF, Garnacho-Castaño MV. 2018. Effects of beetroot juice supplementation on intermittent high intensity exercise efforts. *J Internat Soc Sport Nutrition* 15 (2): 1-12.
- Förstermann U, Sessa WC. 2012. Nitric oxide synthases: regulation and function. *Eur Heart J* 33(7):829-37, 837a-837d.
- Garnacho-Castaño MV, Palau-Salvà, G, Serra-Payà N, Ruiz-Hermosel MR, Berbell M, Viñals X, Gomis Bataller M, Carbonell T, Vilches-Saez S, Pleguezuelos Cobo 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. *J Int Soc Sports Nutr* 17:56.
- Gluckman TJ, Bhave NM, Allen LA, Chung EH, Spatz ES, Ammirati E, Baggish AL, Bozkurt B, Cornwell III W, Harmon KG, Kim JH, Lala A, Levine BD, Martinez, MW, Onuma O, Phelan D, Puntmann VO, Rajpal S, Taub PR, Verma AK. 2022. 2022 ACC Expert consensus decision pathway on cardiovascular sequelae of COVID-19 in adults: myocarditis and other myocardial involvement, post-acute sequelae of SARS-CoV-2 infection and return to play. A report of the American College of Cardiology Solution Set Oversight Committee. *J Am Coll Cardiol* 79(17): 1717-756.
- Goncalves R, Negrao C, Krieger M. 2011. Óxido nítrico y sistema cardiovascular: Activación celular, reactividad vascular y variant genética. *Arq Bras Cardiol* 96(1): 68-75.
- Hasibuan R, Apollo F, Nailuvar R. 2019. Effect of beetroot juice (*Beta vulgaris* L) during training on malondialdehyde level in athletes. *Research Gate Impact Factor* 8 (12): 298-301.
- Hernández A, Schiffer T, Ivarsson N, Cheng A, Bruton J, Lundberg J, Weitzberg E, Westerblad H. 2012. Dietary nitrate increases tetanic Ca²⁺ and contractile force in mouse fast-twitch muscle. *J Physiol* 590 (15): 3575-3583.
- Heunks LMA, Machiels HA, Dekhuijzen RPN, Prakash YS, Sieck GC. 2001. Nitric oxide affects sarcoplasmic calcium release in skeletal myotubes. *J Applied Physiol* <https://doi.org/10.1152/jappl.2001.91.5.2117>
- Kapil V, Khambata R S, Robertson A, Caulfield M J, Ahluwalia A. 2015. Dietary nitrate provides sustained blood pressure lowering in hypertensive patients. a randomized, phase 2, double-blind, placebo-controlled study. *Hypertension* 65:320-327.
- Keshet R, Erez A. 2018. Arginine and the metabolic regulation of nitric oxide synthesis in cancer. *Dis Models Mechan* 11(8): 1-11.
- Kurowska A, Antosik K, Kobilinska M, Decyk A. 2021. Beetroot juice-legal doping athletes? *Central Eur J Sports Sci Med* 3(35): 57-70.
- Larsen FJ, Schiffer TA, Borniquel S, Sahlin K, Ekblom B, Lundberg JO, Weitzberg E. 2011. Dietary inorganic nitrate improves mitochondrial efficiency in humans. *Cell Metab* 13:149-159.
- Lopez-Samanes A, Parra A, Moreno-Perez V, Courel-Ibanez 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.
- Martin-Augustin O, Sánchez-Medina F. 2004. Arginina, óxido nítrico y función endotelial. *Ars Pharm* 45(4): 303-317.
- Maughan J, Burke L, Dvorak J, Larson-Meyer D, Peeling P, Phillips S. 2018. IOC consensus statement: dietary supplements and the high-performance athlete. *British J Sports Med* 52 (7): 439-455.
- Michel JB. 1998. Role of endothelial nitric oxide in the regulation of the vasomotor system. *Pathol Biol (Paris)* 46(3):181-9.
- Nisoli E, Clementi E, Paolucci C, Cozzi V, Tonello C, Sciorati C, Bracale R, Valerio A, Francolini M, Moncada S, Carruba MO. 2003. Mitochondrial biogenesis in mammals: the role of endogenous nitric oxide. *Science* 299:896-899.
- Nisoli E, Falcone S, Tonello C, Cozzi V, Palomba L, Fiorani M, Pisconti A, Brunelli S, A, Francolini M, Cantoni O, Carruba MO, Moncada S, Clementi

- E. 2004. Mitochondrial biogenesis by NO yields functionally active mitochondria in mammals. *Proc Natl Acad Sci U.S.A.* 101:16507-16512.
- Olsson H, Al-Saadi J, Oehler D, Pergolizzi J, Magnusson P. 2019. Physiological effects of beetroot in athletes and patients. *Cureus* 11(12): e6355.
- IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Ingested nitrate and nitrite, and cyanobacterial peptide toxins. 2010. IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. *IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum* 94: v-vii, 1-412.
- Pedraza Chaverri J, Cárdenas Rodríguez, N. 2006. Especies reactivas de oxígeno y sistemas antioxidantes. *Aspectos básicos. Educación Química* 17(2), 164-173.
- Piknova B, Park J, Swanson K, Dey S, Noguchi C, Schechter A. 2015. Skeletal muscle as an endogenous nitrate reservoir. *Nitric Oxide* 47: 10-16.
- Raubenheimer K, Hickey D, Leveritt M, Fasset R, Ortiz de Zavallos J, Allen JD. 2017. Acute effects of nitrate-rich beetroot juice on blood pressure, hemostasis and vascular inflammation markers in healthy older adults: A randomized, placebo-controlled crossover study. *Nutrients* 9:1270.
- Romero-Vecchione E, Martin-Harsel A, Acosta M. 2020. Dos casos de calambres nocturnos en las piernas que mejoraron con la ingesta suplementaria de remolacha (*Beta vulgaris rubra*) en la dieta. *VITAE* 81: 1-6.
- Roy K, Gullapalli S, Chaudhuri U, Andchakraborty R. 2004. The use of a natural colorant based on betalain in the manufacture of sweet products in India. *Int J Food Sci Technol* 39(10):1087-1091.
- Scarpulla RC. 2008. Transcriptional paradigms in mammalian mitochondrial biogenesis and function. *Physiol Rev* 88:611-638.
- Serra-Payá N, Gamarlho-Castaño M, Sánchez-Nuño S, Albesa-Albiol L, Girabent-Farres M, Moizé Arcone L, Pardo Fernández A, García Fresneda A, Castizo-Olier J, Viñals X, Molina-Raya L, Gomis Bataller M. 2021. The relationship between resistance exercise performance and ventilatory efficiency after beetroot juice intake in well-trained athletes. *Nutrients* 13 (4):1094.
- Siervo M, Lara J, Ogbonmwan I, Mathers J. 2013. Inorganic nitrate and beetroot juice supplementation reduces blood pressure in adults: A systematic revision and Meta-Analysis. *J Nutri Dis* April 17: 818- 826.
- Stamler JS, Meissner G. 2001. Physiology of Nitric Oxide in Skeletal Muscle. *Physiol Rev* 81(1):209-237.
- Thomas D, Erdman K, Burke L. 2016. Position of the Academy of Nutrition and Dietetics, Dietitians of Canada, and the American College of Sports medicine. Nutrition and athletic performance. *J Acad Nutri Diet* 116 (3): 501-528.
- Valcárcel Ares MN. 2014. Implicaciones patológicas del desequilibrio redox: estudio del papel de la mitocondria en el proceso inflamatorio del sinoviocito y estudio de la participación de Nrf2 en la capacidad angiogénica endotelial. Disponible en: <https://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/11895>
- Vulic J, Cebovic T, Canadanovic-Brunet J, Cetkovic G, Pjilas S, Canadanovic- Brunet J, Velićanski A, Cvetković D, Tumbas V. 2013. Antiradical, antimicrobial, and cytotoxic activities of commercial beetroot pomace. *Food Func* 4(5): 713- 721.
- Wootton-Beard P, Ryan L. 2011. A beetroot juice shot is a significant and convenient source of bioaccessible antioxidants. *J Functional Foods* 3(4): 329-334.
- Wylie LJ, Kelly J, Bailey SJ, Blackwell JR, Skiba PF, Winyard PG, Jeukendrup AE, Vanhatalo A, Jones AM. 2013. Beetroot juice and exercise: Pharmacodynamic and dose-response relationships. *J Appl Physiol* 115: 325-336.