



UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL ESTADO DE MORELOS

FACULTAD DE NUTRICIÓN

“ESTUDIO DE LA SINERGIA DE LOS COMPUESTOS BIOACTIVOS Y NUTRICIONALES DEL BETABEL (*BETA VULGARIS*) EN LA SALUD Y LA ERGOGÉNIA EN LA ACTIVIDAD FÍSICA, MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN DE UN MAPA BIOLÓGICO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
MAESTRO EN CIENCIAS DE LA NUTRICIÓN

PRESENTA:

LIC. EN C. F. y D. NORY ELIZABETH MONROY ORTIZ

DIRECOTR DE TESIS:

Dra. América Ivette Barrera Molina

CODIRECTOR:

Dr. Marco Fredy Jaimes Laguado

COMITÉ TUTORAL:

Dr. Heriberto Manuel Rivera

Dra. Mayra Yaneth Antúnez Mojica

Dr. Otoniel Rodríguez Jorge

CUERNAVACA, MORELOS

MAYO, 2023.

## **AGRADECIMENTOS**

El presente trabajo agradezco a Dios por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida.

A mi esposo e hijos: Arturo, Dania y Damián, por motivarme a seguir adquiriendo conocimiento y a ser mejor cada día, por todo el apoyo, amor, paciencia y por creer en mí.

A mis padres: Alfonso y Maricruz, por su apoyo incondicional y porque siempre están a mi lado. Han sido mis mejores guías de vida, gracias por ser quienes son y por creer en mí.

Mis hermanos: Laura, Diana y Luis, por haberme apoyado durante toda esta etapa y estar siempre a mi lado, por cuidar a mis hijos para yo poder culminar la maestría, y por sus consejos y observaciones.

A mis tutores y comité tutorial: Por haberme guiado en este proyecto, en base a su experiencia y sabiduría, los cuales han sabido direccionar mis conocimientos.

En a mi tutora Dra. Ivette por recibirme en su laboratorio y diseñar este proyecto, por su paciencia y apoyo, por creer en mí.

Al Dr. Manuel Rivera por mi estancia académica de tres meses en el laboratorio de Biología de sistemas y Medicina Traslacional.

Agradezco a el CONACYT por el apoyo económico brindado durante la realización de este proyecto.

## RESUMEN

En la actualidad las enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT) son una de las principales causas de discapacidad y muerte en todo el mundo. Este término se refiere a un grupo de enfermedades que son causadas de manera multifactorial. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS) se estima que 41 millones de personas mueren todos los años por estas enfermedades de las cuales el 86% son muertes prematuras en países de ingresos bajos y medianos. Destacando dentro de las más comunes a las enfermedades cardiovasculares y diabetes. De manera nacional la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (Ensanut) 2018-19 comprobó que el sobrepeso y obesidad siguen siendo un problema altamente prevalente en todas las edades. Dentro de los principales factores el tabaquismo, el fondo genético y de mayor relevancia el tipo de alimentación esto debido principalmente a una carencia en el consumo de los alimentos frescos como vegetales y frutas, un alto nivel de consumo de grasas saturadas, sodio, azúcares, granos refinados, altos niveles de carnes procesadas y grasa, aunado a esto un estilo de vida sedentario y la falta de actividad física. Se ha comprobado que la actividad física ayuda a prevenir ECNT. Por otra parte, se han evaluado componentes incluidos en ciertos alimentos probados como ingredientes claves para el tratamiento de algunas ECNT como enfermedades cardiovasculares, cerebrovasculares, cáncer, diabetes y enfermedades crónicas respiratorias, un ejemplo de estos es el nitrato ( $\text{NO}_3$ ) presente en betabel muestra acciones hemodinámicas y metabólicas. Se ha estudiado su actividad vasodilatadora sobre las fibras musculares lisas provocando la dilatación de los vasos sanguíneos, mejora la biogénesis y la eficacia

mitocondrial, favoreciendo un metabolismo energético oxidativo. Otro componente son las betainas, que sugieren actividad antioxidante asociada a reducir la formación de tumores multiorgánicos. En cuanto se refiere a la actividad física la mayoría de las investigaciones han demostrado que la suplementación con jugo de betabel promueve de la misma manera este metabolismo energético oxidativo lo que pone de manifiesto que la combinación de un patrón dietario específico y la actividad física pueden lograr beneficios a la salud previniendo a estas ECNT, sin embargo aún no se han descrito si estas funciones se encuentran relacionadas de manera sinérgica entre estas moléculas y otras presentes en el betabel. Razón por la cual el presente trabajo fue identificar la sinergia de los compuestos bioactivos nutricionales del betabel mediante la construcción de un mapa biológico celular y su relación durante la ergogénia en el deporte. Mediante una búsqueda de compuestos bioactivos con función nutricional y ergogénica presentes en el betabel en base las bases de datos fooDb y PubChem. Los resultados obtenidos identificaron X compuestos nutricionales de los cuales 16 compuestos bioactivos presentaron función ergogénica, de los cuales los nitratos, la *L*-arginina y el calcio son los que tienen mayor evidencia científica y participan en el proceso de producción de energía y contracción muscular. Conclusión: Se pudo observar que el betabel es una buena opción de alimento con efecto ergogénico no solo por su alto contenido en nitratos, si no por su contenido total de nutrientes y compuestos que se pueden encontrar en su forma natural sin ningún tipo de procesamiento, esto lo hace un alimento viable para uso como ayuda ergogénica.

## **ABSTRACT**

Chronic noncommunicable diseases (NCDs) are currently one of the leading causes of disability and death worldwide. This term refers to a group of diseases that are multifactorially caused. According to the World Health Organization (WHO), it is estimated that 41 million people die every year from these diseases, 86% of which are premature deaths in low- and middle-income countries. Among the most common are cardiovascular diseases and diabetes. Nationally, the National Health and Nutrition Survey (Ensanut) 2018-19 found that overweight and obesity continue to be a highly prevalent problem at all ages. Among the main factors smoking, genetic background and of greater relevance the type of diet this mainly due to a lack of consumption of fresh foods such as vegetables and fruits, a high level of consumption of saturated fats, sodium, sugars, refined grains, high levels of processed meats and fat, coupled with this a sedentary lifestyle and lack of physical activity. Physical activity has been shown to help prevent NCDs.

On the other hand, components included in certain foods have been evaluated as key ingredients for the treatment of some NCDs such as cardiovascular diseases, cerebrovascular diseases, cancer, diabetes and chronic respiratory diseases, an example of which is the nitrate ( $\text{NO}_3$ ) present in beet, which shows hemodynamic and metabolic actions. Its vasodilator activity on smooth muscle fibers has been studied, causing dilation of blood vessels, improving biogenesis and mitochondrial efficiency, favoring an oxidative energy metabolism. Another component is betaines, which suggest antioxidant activity associated with reducing the formation of multi-

organ tumors. Regarding physical activity, most research has shown that supplementation with beet juice promotes, in the same way this oxidative energy metabolism, which shows that the combination of a specific dietary pattern and physical activity can achieve health benefits by preventing these NCDs; however, it has not yet been described whether these functions are synergistically related between these molecules and others present in beet.

For this reason, the present work aimed to identify the synergy of nutritional bioactive compounds of beet through the construction of a cellular biological map and its relationship during ergogenics in sport. Through a search of bioactive compounds with nutritional and ergogenic functions present in beet in foodb and PubChem databases. The results obtained identified X nutritional compounds of which 16 bioactive compounds presented ergogenic function, of which nitrates, L-arginine and calcium have the most scientific evidence and participate in the process of energy production and muscle contraction. Conclusion: It was observed that beet is a good food option with ergogenic effect not only for its high nitrate content, but also for its total content of nutrients and compounds that can be found in their natural form without any type of processing, which makes it a viable food for use as an ergogenic aid.

# ÍNDICE GENERAL

## Contenido

<b>1. ANTECEDENTES</b> .....	1
1.1 Enfermedades crónicas no transmisibles.....	1
1.2 Alimentación y ECNT .....	3
1.2.1 Importancia de los compuestos bioactivos en la prevención de ECNT .....	4
1.2.1.1 Clasificación de lo compuestos bioactivos .....	5
1.3 Betabel.....	11
1.4 Betabel y ECNT .....	13
1.4.1 Efecto de los compuestos bioactivos del betabel sobre la hipertensión....	14
1.5 Actividad física y ECNT.....	17
1.5.1 Ayudas ergogénicas en la actividad física y deporte.....	19
1.5.2 Clasificación de las ayudas ergogénicas .....	20
1.5.3 El betabel como alimento ergogénico en la actividad física. ....	22
1.5.4 Nitratos con función ergogénica presentes en el betabel.....	24
<b>2. JUSTIFICACIÓN</b> .....	28
<b>3. HIPÓTESIS</b> .....	29
<b>4. OBJETIVOS:</b> .....	29
4.1 Objetivo general.....	29

4.2 Objetivos específicos .....	29
<b>5. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>30</b>
5.1 criterios de clasificación de los compuestos nutricionales y bioactivos del betabel. ....	30
5.2. Identificación de los compuestos nutricionales y bioactivos del betabel relacionados con la ergogénia en el deporte. ....	31
5.3 Construcción un mapa metabólico que relacione la función sinérgica los compuestos bioactivos nivel celular en la ergogénia en el deporte. ....	32
<b>6. RESULTADOS .....</b>	<b>33</b>
6.1 Tipificación los compuestos nutricionales y bioactivos.....	33
6.2 Clasificación y concentración de los compuestos nutricionales y bioactivos con actividad ergogénica. ....	35
6.3 Realización de un modelo que relacione la función sinérgica los compuestos bioactivos nivel celular en la ergogénia en el deporte.....	43
<b>7. DISCUSIÓN.....</b>	<b>48</b>
<b>8. CONCLUSIÓN.....</b>	<b>50</b>
<b>9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>51</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Grafica de muertes atribuidas a las principales ECNT. ....	2
Figura 2. Grafica de factores de riesgo modificables responsables de muertes al año. ....	3
<b>Figura 3.</b> Sustancias bioactivas de diversas familia químicas. ....	6
Figura 4. Compuestos bioactivos presentes en el betabel. ....	13
Figura 5. Efecto del NO en la presión arterial.....	14
Figura 6. Ruta del Nitrato a óxido nítrico. ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 7, Proceso de selección realizado para identificar los compuestos del Betabel ...	36
Figura 8. Papel de la arginina en la salud cardiovascular. ....	38
Figura 9. Mecanismo de acción de la arginina en la vasodilatación. ....	40
Figura 10. Síntesis de creatina a partir de L-arginina. ....	41
Figura 11. Mecanismo de acción del calcio en la contracción muscular.....	43
Figura 12. Propuesta de mapa biológico de la sinergia entre las rutas de arginina, calcio y nitratos.....	47

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de los polifenoles.....	7
Tabla 2. Contenido nutricional del betabel .....	12
Tabla 3. Estudios del impacto del betabel sobre la presión arterial.....	15
Tabla 4. Compuestos nutricionales y bioactivos presentes en el betabel.....	34
Tabla 5, compuestos nutricionales y bioactivos con función ergogénica.....	35
Tabla 6. Número de artículos encontrados de cada compuesto.....	37

## SIGLAS Y ABREVIATURAS

ECNT: Enfermedades Crónicas no transmisibles

OMS: Organización Mundial de la Salud

ENSANUT: Encuesta Nacional de Salud y Nutrición

FoodB: Food Data Base

CBa: Compuestos Bioactivos

DT2: Diabetes tipo 2

ECV: Enfermedades Cardiovasculares

RSV: Resveratrol

CUR: Cúrcuma

QR: Quercetina

AC: Antocianinas

PA: Presión Arterial

PAS: Presión Arterial Sistólica

PAD: Presión Arterial Diastólica

COI: Comité Olímpico Internacional

O<sub>2</sub>: Oxígeno

NO<sub>3</sub>: Nitratos

NO<sub>2</sub>: Nitritos

NO: Óxido nítrico

NR: Nitrato Reductasa

VO<sub>2</sub>: Volumen de oxígeno

ATP: Adenosín Trifosfato

GMPc: Guanosín monofosfato cíclico

GTP: Nucleótido trifosfato

NCBI: National Center for Biotechnology Information

SBW: Systems Biology Workbench

NOS: Óxido Nítrico Sintasa

BH<sub>4</sub>: Tetrahidrobiopterina

NAD: Nicotinaminodinucleótido reducido

FAD: Flavín adenín dinucleótido

NOS: Óxido Nítrico Sintasa

NCBI: Centro Nacional de Información Biotecnológica

NML: Biblioteca Nacional de Medicina

NIH: Instituto de Salud Pública de los Estados Unidos

GINsim: Gene Interaction Network simulation

Cr: Creatina

PC: Fosfocreatina

Pi: Fosforo inorgánico

# 1. ANTECEDENTES

## 1.1 Enfermedades crónicas no transmisibles

En la actualidad las enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT) son una de las principales causas de discapacidad y muerte en todo el mundo. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), en el año 2030 el número total de muertes será de 55 millones en el mundo por causa de las ECNT (1). El padecimiento de alguna enfermedad no transmisible ocurre principalmente en la edad adulta, sin embargo, la exposición a los factores de riesgo comienza desde los primeros años de vida. Según la OMS, 2 millones de personas mueren anualmente por causa de la diabetes, a los cánceres se le atribuyen 9.3 millones de muertes, las enfermedades respiratorias crónicas 4,1 millones y el mayor porcentaje de mortalidad lo representan las enfermedades cardiovasculares (ECV) con 17,9 millones de personas al año (2) figura 1.

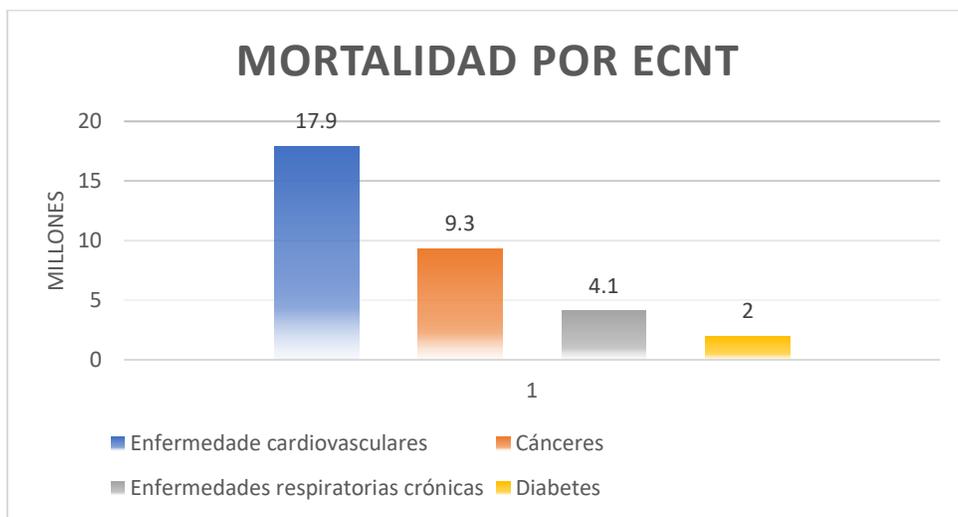


Figura 1. Grafica de barras de las muertes atribuidas a las principales ECNT. **En el eje horizontal se muestran las principales enfermedades crónicas no transmisibles, en el eje vertical la cuantificación por millones de personas.**

Se puede observar que las ECV ocupan el primer lugar en mortalidad en el mundo, la presión arterial alta (PA), es un factor de riesgo importante para el desarrollo de las ECV, la cual se asocia con la evidencia más fuerte de causalidad. Hipertensión es el término que se utiliza para referirse a la PA. Para medir a presión arterial generalmente se asignan dos números, el número superior se denomina presión arterial sistólica (PAD) y el inferior se llama presión arterial diastólica (PAD). Por ejemplo, 120 sobre 80 (escrito como 120/80 mm Hg). Se considera hipertensión cuando uno o ambos números de la PA son mayores de 130/80 mm Hg (3).

Las ECNT suelen ser de progresión lenta y de larga duración, estas pueden ser prevenidas si se eliminan los factores de riesgo comunes. El consumo de alcohol y cigarrillo, malos hábitos alimentarios e inactividad física se consideran de los principales factores de riesgo (grafica 2) (4).

Existen factores de riesgo no modificables (genéticos y ambientales ), y factores conductuales (modificables) relacionados con el estilo de vida, como la alimentación y actividad física (5) grafica 2, los cuales juegan un papel muy importante en la vida del ser humano para la prevención de las ECNT (1,6). Según la OMS existe una estrecha relación entre una inadecuada alimentación con enfermedades como: obesidad, diabetes, cardiovasculares e incluso cáncer de colon (4).

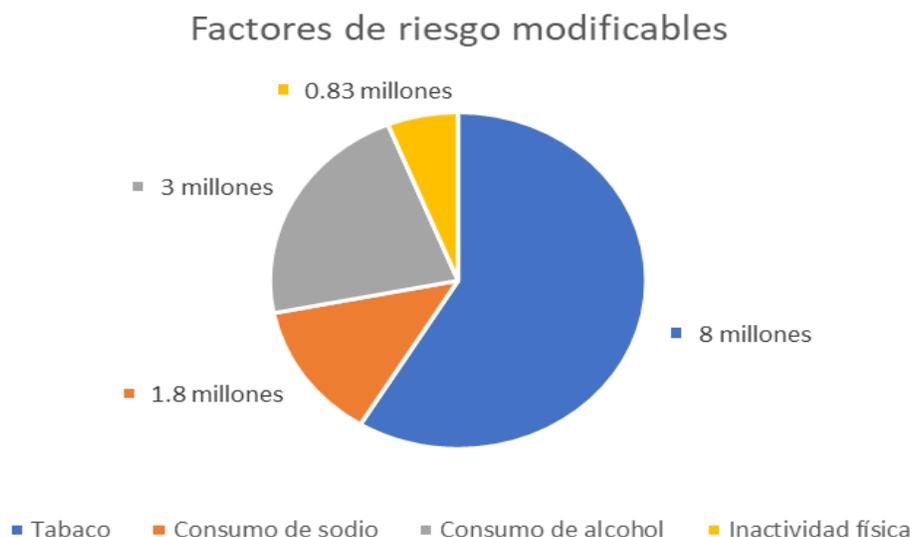


Figura 2. Grafica de factores de riesgo modificables responsables de muertes al año.

## 1.2 Alimentación y ECNT

Como se mencionó anteriormente dentro de los factores de riesgo modificables para la prevención de las ECNT tenemos a la alimentación, la cual consta de la selección, preparación y consumo de un grupo de alimentos. Así mismo la combinación de varios alimentos en forma equilibrada se considera como una alimentación saludable (7).

Los hábitos de alimentación que tienen una carencia en el consumo de alimentos frescos como vegetales y frutas, y un alto nivel de consumo de grasas saturadas, sodio, azúcares, granos refinados, altos niveles de carnes procesadas tienen un impacto directo en el aumento de las ECNT (8).

Una dieta poco saludable aumenta el riesgo padecer enfermedades que se asocian con una mortalidad y morbilidad significativa, como lo son enfermedades cardiovasculares, cáncer y diabetes (9).

Por lo contrario, una dieta saludable tiene muchos beneficios, algunos de ellos son: la reducción al riesgo de padecer alguna ECNT. Para esto es necesario el consumo de macronutrientes (proteínas, grasas y carbohidratos), micronutrientes (vitaminas y minerales) e hidratación, en proporciones adecuadas, que le permita al hombre satisfacer sus necesidades fisiológicas y energéticas (10). Una dieta saludable está compuesta por alimentos los cuales contienen nutrientes y compuestos bioactivos que tendrán un impacto directo en el organismo y la función de los sistemas del cuerpo. La composición química de las frutas y vegetales, en la actualidad han sido de las más estudiadas con la finalidad de obtener fuentes de sustancias bioactivas que agreguen valor a los alimentos (11).

### **1.2.1 Importancia de los compuestos bioactivos en la prevención de ECNT**

El desarrollo de procesos patológicos como enfermedades cardiovasculares, diabetes mellitus, enfermedad renal, enfermedades neurodegenerativas, cáncer, entre otras, han sido relacionadas con un estado persistente de inflamación, mediada por interleucinas y citocinas proinflamatorias como IL-1 $\alpha$ , IL-6, IL-8, y estrés oxidativo (12,13). provocado a su vez por especies derivadas del oxígeno,

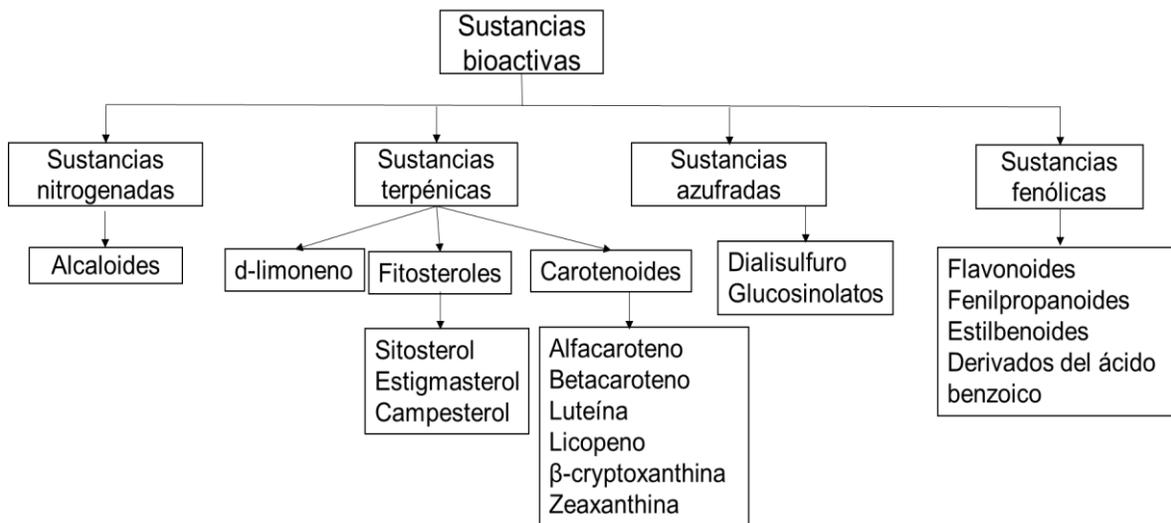
que pueden reaccionar con macromoléculas para producir radicales libres a partir de las moléculas dañadas, afectando procesos como cambios en la expresión génica, replicación celular, diferenciación y muerte celular apoptótica (13). Además, la vía inflamatoria es mediada por el aumento de la senescencia celular (12).

Diversos estudios han demostrado que este declive fisiológico es causado por la acumulación de daños aleatorios en moléculas vitales. Podrían ser retrasados mediante el uso de recursos naturales (biológicos), como metabolitos secundarios derivados de alimentos vegetales. El consumo de estos metabolitos secundarios conocidos también como compuestos bioactivos CBA o fitoquímicos, están asociados con un menor riesgo de enfermedades crónicas, como enfermedades cardiovasculares, cáncer, síndrome metabólico, diabetes tipo II y obesidad. (14)

Un CBA normalmente se encuentra en pequeñas cantidades en productos vegetales (frutas, hortalizas, cereales y alimentos derivados de ellos) estos compuestos bioactivos tienen un efecto sobre los organismos vivos, influyen en la actividad de las células y en los mecanismos fisiológicos (41).

### **1.2.1.1 Clasificación de los compuestos bioactivos**

Se pueden distinguir 4 grandes grupos de CBA dependiendo de su naturaleza química: 1) sustancias azufradas 2) terpénicas 3) nitrogenadas y 4) fenólicas (15) figura 1. Estas moléculas y sus compuestos bioactivos están mediados principalmente por mecanismos específicos como la generación de tejido, la activación de los telómeros, la acción anti senescencia, la reparación del ADN y la actividad antioxidante dirigida (13).



**Figura 3. Clasificación de la sustancias bioactivas de diversas familias químicas, adaptado de Drago Serrano 2006.**

Estas últimas también conocidas como polifenoles constituyen un grupo muy numeroso de sustancias que incluyen familias de compuestos con estructuras diversas (16). Gran parte de los compuestos fenólicos son responsables de las propiedades organolépticas de los alimentos de origen vegetal, entre éstos hay pigmentos como las antocianinas, responsables de los tonos rojos, azules y violáceos característicos de muchas frutas, hortalizas y del vino tinto, o los flavonoides, de tonalidad crema-amarillenta (43). En la tabla 1 se representa la clasificación más común de los polifenoles, con las subclases que se consumen más usualmente en una dieta normal, y algunos alimentos con mayor contenido de estos (17).

## Clasificación de los polifenoles.

Polifenoles	
Clases y subclases	Principales fuentes alimentarias
<b>Flavonoides</b>	
Antocianinas	Mora azul, zarzamora, cereza, aceituna negra, fresa, frambuesa, col morada, uvas, arándanos, betabel.
Flavonoles	Cacao en polvo, chocolate amargo, té negro/verde, manzana, soja, limón, naranja, menta, cilantro.
Flavanonas	Tomates, menta seca, orégano, jugo de toronja, jugo de naranja.
Flavonas	Perejil, menta seca, orégano, apio, harina de trigo integral.
Flavonoles	Alcaparras, azafrán, orégano, cebolla morada, espinaca.
Isoflavonas	Harina de soya, soya, tempeh de soya, leche o yogurt de soya, frambuesas, uvas, ciruelas, alfalfa.
<b>Ácidos fenólicos</b>	
Ácidos hidroxibenzoicos	Clavo, jugo de granada, frambuesa, arándano.
Ácidos Hidroxicinámicos	Menta seca, romero seco, menta fresca, tomillo, orégano.
<b>Lignanos</b>	
Matairesinol	Ajonjolí, linaza, semilla de girasol, kale, pasas, semillas de calabaza.
Secoisolariciresinol	Linaza, kale, kiwi, cacahuate, semillas de girasol, sésamo
<b>Estilbenos</b>	
Resveratrol	Uvas, arándano, grosella, fresa, pistache, cacahuate, moras, cacao.

**Tabla 1.** Muestra la clasificación de los polifenoles y algunos alimentos en los cuales están presentes, adaptado y modificado de Castro Acosta 2019.

Los polifenoles podrían estar relacionados con la prevención de enfermedades cardiovasculares y de algunos tipos de cáncer, debido a que se les confiere actividad antioxidante debido a que tienen propiedades captadoras de radicales libres (18).

Lo anterior ha dado la pauta para desarrollar portafolios dietarios que han demostrado que tienen un efecto benéfico para la salud, estos portafolios se desarrollan comprobando científicamente el efecto de cada uno de los nutrimentos sobre la salud, y así mismo poder ayudar al tratamiento de algún padecimiento en específico. Para que las células del cuerpo tengan un funcionamiento normal se requiere de una nutrición adecuada, contrario a esto cuando hay problemas nutricionales todos los sistemas pueden verse afectados (7).

Existen portafolios dietarios para graves problemas de salud, ejemplos de estos alimentos presentes en un portafolio dietario tenemos a la semilla de chía, avena, nopal deshidratado los cuales han demostrado que tienen características específicas para el tratamiento de síndrome metabólico (19). El consumo del nopal demostró que se produce una disminución significativa de glucosa en plasma, triglicéridos y colesterol en sujetos obesos y con diabetes tipo 2 (DT2) (20,21). Por otro lado, la semilla de chía presenta una alta concentración de ácidos grasos de tipo omega-3, (63.5 g/100g de lípidos en la semilla), el aumento del consumo de los ácidos grasos omega-3 disminuye el riesgo de presentar enfermedad cardiovascular en personas con SM y mortalidad en enfermedades

cardiovasculares (ECV) (22,23). Así mismo se considera a la semilla de chía como una buena fuente de antioxidantes, proteína vegetal, fibra, calcio, hierro y folato (24). El consumo de estos alimentos ha demostrado efectos beneficiosos para el tratamiento de síndrome metabólico (19).

Otro compuesto que ha demostrado efectos buenos para la salud es el resveratrol (RSV) el cual se ha detectado principalmente en uvas, vino tinto y granadas y es el principal estilbeno presente en la dieta humana. La epigallocatequina-3-galato (EGCG) es el principal polifenol del té verde con altas propiedades antioxidantes y depuradoras. Es el éster del ácido gálico con epigallocatequina y se caracteriza por dos grupos trifénólicos. La curcumina (CUR) exhibe posibles acciones antiinflamatorias, antioxidantes y quimiopreventivas y es un polifenol de *Curcuma longa* Linneo (Zingiberaceae). La quercetina (QR) es un flavonol que se encuentra en varios alimentos, como las bayas y el té; su actividad antioxidante es el resultado de tres grupos importantes: el grupo 4-oxo en combinación con los grupos 2,3-alqueno, 3- y 5-hidroxilo, y los grupos hidroxilo del anillo B. El ácido elágico aplica una alta actividad antioxidante y de eliminación de radicales y es un polifenol derivado de los elagitaninos que se encuentran principalmente en nueces y bayas. Las antocianinas (AC) son pigmentos solubles en agua con colores púrpura, rojo y azul y presentes en las frutas, especialmente en la granada, las bayas y las uvas rojas. Las antocianinas se han estudiado como moléculas biofuncionales con posibles efectos antiinflamatorios, antioxidantes y quimioprotectores (14).

Las bayas, como la mora, el arándano, la fresa, etc., son una de las mejores fuentes dietéticas de componentes bioactivos, como antocianinas, flavonoles, flavanoles, proantocianidinas, y ácidos fenólicos, siendo las antocianinas los pigmentos más fuertes, responsables del color rojo, azul o púrpura de las bayas, que actúan como poderosos antioxidantes (14).

Los compuestos fenólicos como las antocianinas tienen la capacidad de actuar como captadores de radicales libres contra oxidantes nocivos como las especies reactivas de oxígeno y nitrógeno. Las antocianinas pueden captar especies de radicales reactivos mediante una reacción de transferencia de un solo electrón y mediante la abstracción del átomo de hidrógeno de los grupos fenólicos (25).

Las antocianinas, al tener en su composición grupos glucosídicos interfieren en la absorción de glucosa, ya que posiblemente son asimiladas a través de los transportadores de glucosa GLUT1 y GLUT2. (26).

Las antocianinas modulan positivamente la densidad y función de GLUT4 tanto en el músculo esquelético como en los tejidos adiposos a través de la regulación positiva de AMPK y la restauración de la sensibilidad a la insulina, a través de mecanismos independientes de la insulina, en varios órganos periféricos, para mejorar las complicaciones clínicas de la diabetes tipo 2, incluida la hiperglucemia, la dislipidemia y la resistencia a la insulina (26).

Con esta información las investigaciones recientes se han centrado en el estudio de compuestos bioactivos presentes en los alimentos que podrían estar modulando diversas enfermedades.

### **1.3 Betabel**

El betabel es un alimento con grandes propiedades y compuestos buenos para la salud, el cual es una raíz gruesa y comestible, también conocida como remolacha, pertenece a la familia de las quenopodiáceas las cuales comprende de unas 1400 especies de plantas. Tiene un diámetro entre 5 y 10 cm y puede llegar a pesar entre 80 y 200 gr. Su color puede ser rojo o morado de acuerdo con el contenido de betalainas, las cuales se encuentran almacenadas en las vacuolas y se encuentran presentes de un 75 a 95% (27). Las betalainas también le aportan características antioxidantes, y se debe a la eliminación de radicales libres los cuales están relacionados con la presencia de grupos hidroxifenólicos en su estructura (28,29). Su sabor es dulce debido a que se trata de una raíz en la que se acumulan grandes cantidades de azúcares. El betabel es cultivado en muchas partes del mundo y puede ser consumido crudo, cocido, en ensaladas y jugos (30).

El betabel tiene un alto valor nutricional debido a su contenido en vitaminas, minerales, fibra y un elevado contenido en carbohidratos y antioxidantes (tabla 2) (31). El betabel tiene un alto contenido en potasio, el ácido fólico, fósforo, calcio y magnesio, y un alto contenido en compuestos fenólicos (32,33).

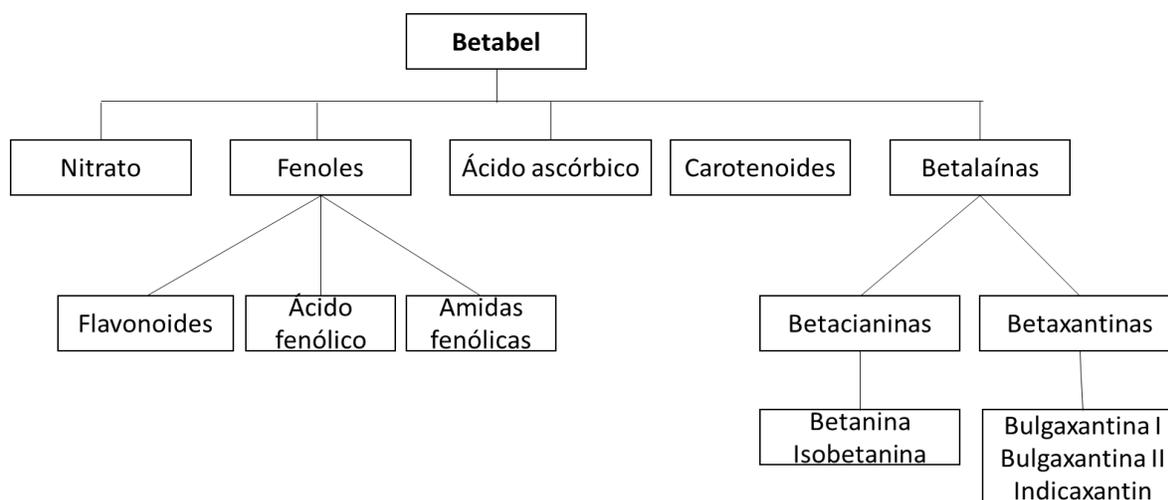
### Contenido nutricional del betabel

<i>Compuesto</i>	<i>Crudo / 100g.</i>
<i>agua</i>	<i>87.58 ml</i>
<i>energía</i>	<i>43 kcal</i>
<i>proteína</i>	<i>1.61 g</i>
<i>grasas totales</i>	<i>0.17 g</i>
<i>carbohidratos</i>	<i>9.56 g</i>
<i>fibra</i>	<i>2.8 g</i>
<i>azúcares</i>	<i>6.76 g</i>
<i>calcio</i>	<i>16 mg</i>
<i>hierro</i>	<i>0.8 mg</i>
<i>magnesio</i>	<i>23 mg</i>
<i>fósforo</i>	<i>40 mg</i>
<i>potasio</i>	<i>325 mg</i>
<i>sodio</i>	<i>78 mg</i>
<i>cinc</i>	<i>0.35 mg</i>
<i>vitamina C</i>	<i>4.9 mg</i>
<i>Tiamina</i>	<i>0.031 mg</i>
<i>Riboflavina</i>	<i>0.04 mg</i>
<i>Niacina</i>	<i>0.334 mg</i>
<i>Folato</i>	<i>109 µg</i>
<i>Contenido fenólico total</i>	<i>255 mg</i>
<i>Contenido total de flavonoides</i>	<i>260 mg</i>

Tabla 2. Muestra el contenido nutricional del betabel y su porcentaje por cada 100 gramos de betabel crudo, modificado de Parvin 2020.

Además de su contenido antes mencionado, el betabel es una fuente rica de compuestos bioactivos, los cuales confieren un efecto positivo en la salud de los consumidores (34) figura 4.

## Compuestos bioactivos presentes en el betabel.



**Figura 4. Descripción de los compuestos bioactivos del betabel**, modificado de Clifford 2015.

### 1.4 Betabel y ECNT

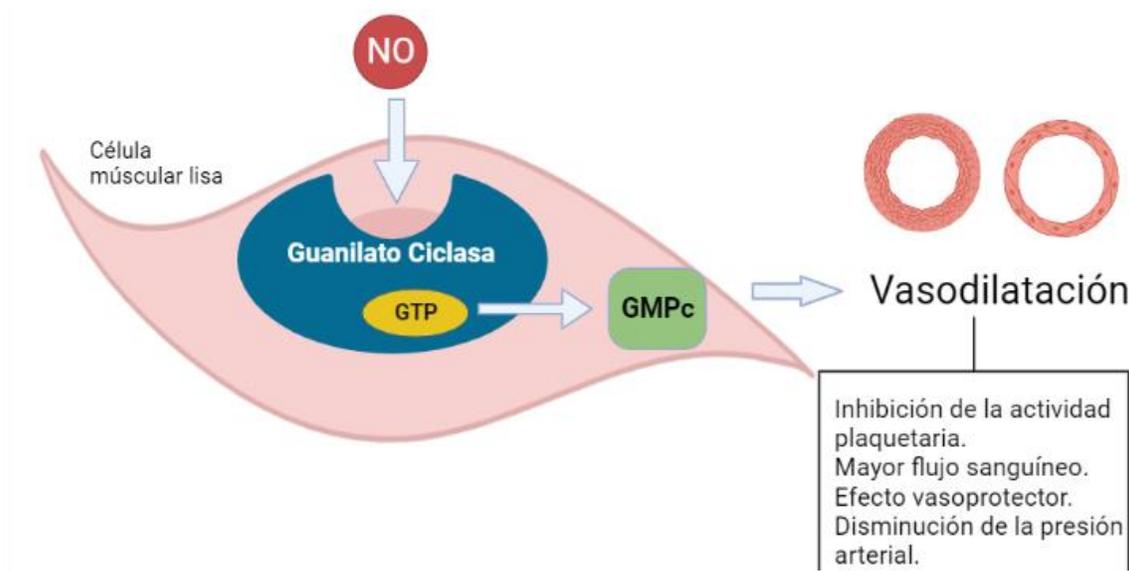
En los últimos años, la utilidad del betabel ha traído mucha atención como alimento funcional para prevenir la enfermedad y promover la salud. Este interés se debe principalmente por el descubrimiento de que los alimentos con alto contenido en nitrato puede tener efecto importante para la salud cardiovascular (35).

Recientes estudios han demostrado efectos fisiológicos beneficios para varias patologías, como; aterosclerosis, demencia, diabetes tipo 2 e hipertensión, estos beneficios se le atribuyen a la ingesta del betabel (36–39).

### **1.4.1 Efecto de los compuestos bioactivos del betabel sobre la hipertensión.**

La hipertensión considerada como una de las enfermedades crónicas no transmisibles, ha sido objetivo de muchas intervenciones terapéuticas como la utilización de nitroglicerina, este medicamento produce un incremento en la concentración de NO, debido a que se ha demostrado que en la hipertensión arterial existe una baja producción de NO (40). Existen considerables estudios que demuestran que el betabel administrado de forma aguda como jugo redujo significativamente la presión arterial sistólica y diastólica, se le atribuye este efecto principalmente por su contenido en nitratos, el cual se activará a NO exhibiendo sus efectos de vasodilatación, figura 5. Esta es un proceso fisiológico el cual potencia el flujo de sangre, de esta forma la sangre fluye con facilidad por los vasos sanguíneos (venas y arterias) y el corazón no tiene que bombear con más fuerza de su capacidad normal, causando una disminución en la presión arterial (32,41,42).

**Figura 5. Efecto del NO sobre la presión arterial.**



**Figura 5.** El óxido nítrico (NO) se une a la enzima guanilato ciclasa y la activa. Esta enzima cataliza la formación de GMP cíclico (GMPc) a partir de guanósín trifosfato (GTP) que induce la vasodilatación.

Existen diversos estudios que demuestran el impacto de consumo agudo y crónico de jugo de betabel sobre la función vascular y PA, a continuación se muestran algunos haciendo énfasis en las propiedades reductoras de la PA en individuos con distintos estados de salud (tabla 3), destacando el papel de los compuestos bioactivos del betabel y la vía nitrato-nitrito (31).

Tabla 3. Estudios del impacto del betabel sobre la presión arterial.

Autor	Población de estudio	Dosis de jugo de betabel y contenido de NO <sub>3</sub>	Hallazgos
Keen <i>et al.</i> 2015 (43).	no fumadores sanos	70 ml (450 mg NO <sub>3</sub> )	↓ PA arterial media, ↓ PAD
Kelly <i>et al.</i> 2013 (44).	Adultos sanos	140 ml (595 mg NO <sub>3</sub> )	↓ PA arterial media, ↓ PAS y PAD
Bailey <i>et al.</i> 2009 (41)	Hombres normotensos	500 ml (690 mg NO <sub>3</sub> )	↓ PAS
Bailey <i>et al.</i> 2009 (41)	hombres sanos y activos	500 ml (320 mg NO <sub>3</sub> )	↓ PA arterial media, ↓ PAS y PAD

Bailey <i>et al.</i> 2016 (45)	Fumadores sanos y no fumadores sanos	140 ml (520 mg NO <sub>3</sub> )	↓ PAS en no fumadores
Kerley <i>et al.</i> 2017 (46).	Pacientes hipertensos controlados y no controlados	140 ml (800 mg NO <sub>3</sub> )	↓ PAD y ↓rigidez arterial en pacientes no controlados
Vanhatalo <i>et al.</i> 2010 (38)	Sujetos sanos	500 ml (322 mg NO <sub>3</sub> )	↓ PAS y presión arterial media
Kapil <i>et al.</i> 2015 (47)	Adultos mayores hipertensos	250 ml (450 mg NO <sub>3</sub> )	↓ PA, mejora la función endotelial, ↓ rigidez arterial
Velmurugan <i>et al.</i> 2016 (48)	Sujetos con hipercolesterolemia	250 ml (370 mg NO <sub>3</sub> )	↓ PAS
Webb <i>et al.</i> 2008 (49)	sujetos sanos	500 ml (1395 mg NO <sub>3</sub> )	↓ Tanto PAS como PAD
Hughes <i>et al.</i> 2016 (50)	Adultos jóvenes y mayores sanos	500 ml (583 mg NO <sub>3</sub> )	↓ PA periférica y aórtica en adultos jóvenes y mayores
Vanhatalo <i>et al.</i> 2010 (38)	Adultos sanos	500 ml (322 mg NO <sub>3</sub> )	↓ PAS y PAD
Kapil <i>et al.</i> 2010 (51)	Adultos sanos	250 m (340 mg NO <sub>3</sub> )	↓ PAS
Ghosh <i>et al.</i> 2013 (52)	Adultos hipertensos	250 ml (217 mg NO <sub>3</sub> )	↓ Tanto PAS como PAD, ↓ velocidad de onda de pulso

Modificado de Parvin 2020.

Estas investigaciones han demostrado los beneficios que otorga el betabel sobre la presión arterial, por esa razón se podría pensar en el consumo del betabel como un posible tratamiento terapéutico no farmacológico promoviendo la salud gracias a sus propiedades naturales.

Además de llevar una adecuada alimentación, también es necesario practicar algún tipo de actividad física y de esta forma se estarían descartando dos de los principales factores de riesgo para el desarrollo de alguna ECNT, que son el sedentarismo y la mala alimentación.

## 1.5 Actividad física y ECNT

Además de mantener buenos hábitos alimenticios, se ha demostrado que la practica regular de actividad física otorga una mejor calidad de vida y del mismo modo ayuda a la prevención y tratamiento de las ECNT, añadiendo a estos beneficios, también tiene un impacto positivo en salud mental (53).

En cuanto a la actividad física se refiere a cualquier movimiento corporal producido por el músculo requiere un gasto energético. Comprende desde actividades domésticas, ir al trabajo, subir escaleras, formas activas de ocio y deportes. Si la actividad física es practicada en duración e intensidad suficientes aporta grandes beneficios para la salud (53,54).

Por lo contrario, el sedentarismo y la inactividad física tienen una alta prevalencia a nivel mundial y se encuentran entre los principales factores de riesgo modificables para las enfermedades crónicas no transmisibles y muerte prematura. Se puede definir al sedentarismo como cualquier comportamiento de vigilia como permanecer acostado, sentado o parado por periodos de tiempos prolongados que implique un gasto energético  $\leq 1,5$  equivalentes metabólicos (55).

Pruebas recientes indican una relación de comportamiento sedentario y el aumento de la prevalencia de obesidad, metabolismo anormal de la glucosa, diabetes, enfermedades cardiovasculares, así como la mortalidad general (56).

La reducción del sedentarismo mediante el fomento de la actividad física tendrá un impacto directo para la prevención de ECNT, por esa razón es importante mantener niveles de actividad física recomendados para poder tener ese beneficio a la salud.

El deporte, la actividad y el ejercicio físico en la actualidad se han relacionado con un mejoramiento de la salud y calidad de vida de los seres humanos. En específico el deporte tiene un gran auge debido a que existen múltiples disciplinas las cuales se basan en el mejoramiento de las capacidades físicas. La frecuencia del entrenamiento, la intensidad, la duración y el tipo de ejercicio, son factores que determinan la respuesta adaptativa al entrenamiento físico, añadiendo a esto la calidad de nutrición antes, durante y después del ejercicio tendrá un impacto directo sobre el rendimiento deportivo (57). Este vínculo entre dieta y ejercicio físico no es nuevo, desde tiempos atrás a finales de siglo XIX se definía al entrenamiento como: “la acción de realizar un curso de ejercicio y dieta como preparación para un evento deportivo”. Podemos observar que esta definición del término entrenamiento no se utilizó solo para definir al ejercicio si no también incluía dieta.

Montague Shearman (58) en uno de sus libros sobre entrenamiento menciona: “Para el deportista, la parte esencial y principal característica del entrenamiento no era la realización de un ejercicio preparatorio adecuado, sino el cambio repentino y violento de dieta” Aunque no existía en ese entonces evidencia científica que respalde de lo que se mencionaba, queda claro que desde años atrás se asume un vínculo entre la dieta y el rendimiento del ejercicio. Aunque estos efectos se referían

principalmente a beneficios a corto plazo, hoy en día los estudios se centran a efectos a largo plazo.

Se ha demostrado que existen adaptaciones fisiológicas durante el entrenamiento de las capacidades físicas condicionales de resistencia y fuerza, a través de la disponibilidad de nutrientes, los cuales tienen una influencia en la señalización celular (59,60).

Para poder lograr un mejor rendimiento deportivo y desarrollo de las capacidades físicas, los deportistas emplean distintas técnicas, no solo enfocándose a las nutricionales, a estas técnicas se le conocen como ayudas ergogénicas.

### **1.5.1 Ayudas ergogénicas en la actividad física y deporte.**

Una ayuda ergogénica es cualquier método ya sea de entrenamiento, práctica nutricional, técnica psicológica, fisiológica, o enfoque farmacológico que le permitan al deportista mejorar su rendimiento deportivo, así como una mejor recuperación y eficiencia del ejercicio (61).

En el mundo del deporte el principal objetivo es obtener un máximo rendimiento físico el cual se logra por medio del desarrollo y mejoramiento de las capacidades físicas condicionales y coordinativas. el mejoramiento del rendimiento deportivo depende de varios factores tales como: la experiencia deportiva, el acondicionamiento físico, la alimentación, los periodos de recuperación etc. Una ayuda ergogénica hace que los deportistas logren tener un máximo rendimiento

deportivo. Mediplan Sport 1996 define las ayudas ergogénicas en el deporte como “una serie de medios que se utilizan para mejorar el rendimiento deportivo cuando no son las diferentes técnicas de entrenamiento los estímulos empleados para tal fin”(62).

Anteriormente en 1992 Williams definió el término “ergogénico” como “cualquier medio para aumentar la utilización de energía, incluyendo la producción de energía, su control y su rendimiento” (63).

### **1.5.2 Clasificación de las ayudas ergogénicas**

La ayuda ergogénica no se restringen solamente al consumo de fármacos o aportes nutricionales, sino también a una serie de mecanismos utilizados para aumentar el rendimiento deportivo, los cuales se pueden clasificar de la siguiente manera (61,64).

**Ayudas Mecánicas:** este tipo de ayudas hacen referencia a los instrumentos y materiales que producen mejoras mecánicas en el rendimiento deportivo, se relacionan con las características físicas de los materiales y del cuerpo humano. Se consideran ayudas mecánicas a nuevos materiales, prendas, el calzado, trajes de baño, bicicletas, incluyendo materiales más ligeros.

**Ayudas psicológicas:** Son técnicas como: relajación, control de estrés y ansiedad, hipnosis, concentración, autoconfianza, evitar pensamientos negativos etc. Este tipo de ayudas resultan importantes para poder potenciar el rendimiento del deportista y

prevenir distintas situaciones negativas que se puedan presentar durante el entrenamiento, competencia y recuperación.

**Ayudas fisiológicas:** Se refiere a la preparación física antes de las situaciones competitivas, son métodos que ayudan a un reacondicionamiento del organismo ante situaciones extremas, tales como la aclimatación al frío, al calor y a estados de altitud. En esta categoría también se pueden incluir ayudas de tipo fisioterapéutico (masajes deportivos).

**Ayudas Farmacológicas:** hacen referencia a las sustancias químicas que se introducen en el organismo para mejorar el funcionamiento orgánico, en esta categoría tenemos a la cafeína, esteroides anabolizantes, efedrina, eritropoyetina.

**Ayudas Nutricionales:** Se refieren a las técnicas con las que a partir de la manipulación de la dieta se mejora el rendimiento deportivo. En la actualidad existe una gran cantidad de ayudas nutricionales como lo son: los hidratos de carbono, ácidos grasos, aminoácidos de cadena ramificada, vitaminas, proteínas, minerales etc.

La dieta de los deportistas juega un papel fundamental para el mejoramiento y adaptación del rendimiento deportivo. Una dieta personalizada para cada deportista de acuerdo a sus características físicas y disciplina que practica debería otorgarle un beneficio sobre su rendimiento físico. Por el contrario, una dieta desequilibrada tiene como consecuencias una disminución del rendimiento, fatiga, lesiones, pérdida de energía.

Las ayudas ergogénicas van desde el uso de técnicas aceptadas, como la carga de carbohidratos, hasta ilegales e inseguras, como el uso excesivo de suplementos alimenticios. Estos han desplazado el consumo de alimentos de fuentes naturales, los cuales tienen grandes beneficios sobre la salud de los seres vivos, esto no significa que pueden estar libres de agentes toxicológicos, pero esto no debe ser un dato alarmante ya que la concentración de estos compuestos es inocua por lo tanto queda garantizada la salud. Un ejemplo de ello es el jugo de betabel, el cual ha demostrado que tiene una función ergogénica conveniente para el rendimiento físico (65–68).

### **1.5.3 El betabel como alimento ergogénico en la actividad física.**

El jugo de betabel fue clasificado recientemente por el Comité Olímpico Internacional (COI) dentro de los 5 suplementos que demostraron que tienen una base sólida para mejorar el rendimiento del ejercicio de alta intensidad, señalando que es el único suplemento de una fuente natural (66).

El Jugo de betabel se ha utilizado como suplemento por deportistas de alto rendimiento. Chris Carver un famoso maratonista americano, tras superar sus propias marcas aseguro ingerir zumo de betabel diariamente durante una semana antes de su competencia, los resultados evidenciaban un mejor funcionamiento cardiovascular y una mayor resistencia en el ejercicio físico, además de tener beneficios para el control de enfermedades cardiovasculares y coronarias (69).

En un estudio cruzado, doble ciego, 16 jugadores masculinos de deportes de equipo recibieron 12 mmol de  $\text{NO}_3$  y de placebo, 08 mmol en jugo de betabel durante 7 días, los sujetos completaron una prueba de sprint intermitente, en una bicicleta, el trabajo total realizado durante los sprints fue mayor con los atletas que ingirieron jugo de betabel rico en nitratos en comparación con el placebo. Estos hallazgos sugieren que el  $\text{NO}_3$  de la dieta mejora el rendimiento de los sprints repetidos (70).

Se ha reportado una reducción significativa del costo de  $\text{O}_2$  del ejercicio de intensidad moderada. También se ha reportado que después de suplementar con jugo de betabel se aumenta el rendimiento en el ejercicio intermitente de alta intensidad en jugadores de deportes de equipo (71). Se han llevado a cabo estudios en ciclismo, caminata, carrera y natación, encontrando resultados similares. Así mismo encontraron que el tiempo de término durante pruebas de ciclismo contrarreloj (4, 10 y 16 km) se redujo significativamente al suplementar a corto plazo con jugo de betabel (tres días), se incrementó la concentración de  $\text{NO}_2^-$  en plasma y redujo el costo de  $\text{O}_2$  del ejercicio submáximo (72).

Bailey S. *et al* (2009) administraron nitrato en forma de jugo de betabel durante 3 días de suplementación (0.5 L/día) posterior a estos días notaron que se redujo el  $\text{VO}_2$  en estado estable durante el ejercicio de intensidad moderada, también observaron que se duplicó la concentración de  $\text{NO}_2$  en el plasma, estos resultados sugieren que la intervención dietética natural mejora la eficiencia del trabajo muscular a corto plazo (41).

Otro estudio sobre los efectos de jugo de betabel sobre el ejercicio físico demostró que además de que el jugo de remolacha podría ayudar en actividades de gran esfuerzo físico también podía ser un gran benefactor en personas de avanzada edad que padecían alguna enfermedad cardiovascular (68). El estudio menciona que a medida que se envejece aumenta la necesidad de requerimiento de oxígeno para realizar actividad. La ingesta de jugo de betabel previa a la realización de cualquier esfuerzo produce una reducción del consumo de oxígeno al submáximo, y por consecuencia reduce la presión arterial y aumenta eficiencia muscular y por lo tanto retraso de la fatiga.

#### **1.5.4 Nitratos con función ergogénica presentes en el betabel**

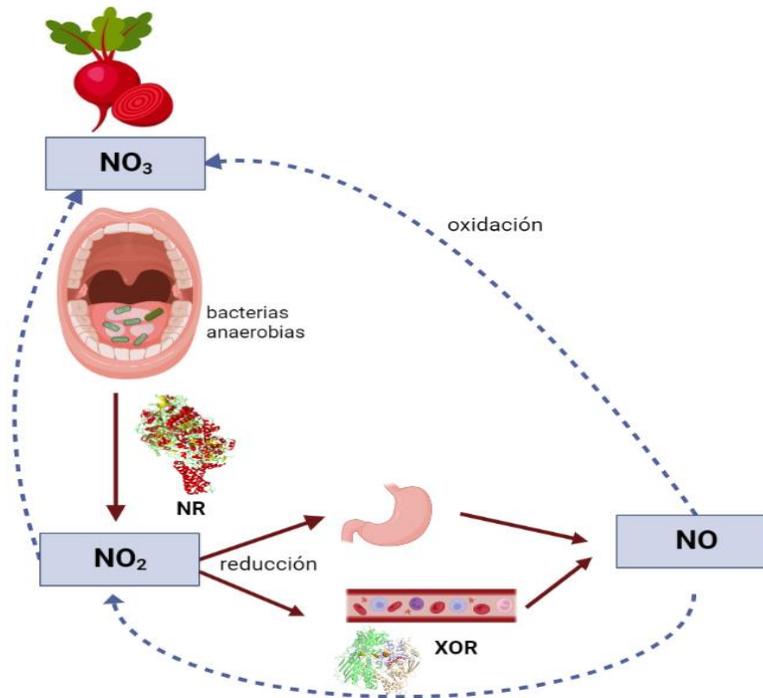
Al principal compuesto del betabel que se le atribuyen efectos ergogénicos es a los nitratos ( $\text{NO}_3$ ). Estos compuestos inorgánicos derivados del ciclo del nitrógeno son empleados como aditivos alimenticios, se encuentran también en verduras como espinacas, berros, lechuga y apio. Los alimentos de origen vegetal con mayor porcentaje de nitratos son los de hojas verde y hortalizas, en menor concentración en el agua (73).

Existen diversos estudios en los cuales se demuestra que una dieta suplementada con jugo de betabel, el cual contiene altas concentraciones de nitrato, tiene un impacto benéfico en el rendimiento físico, la tensión arterial y el volumen de oxígeno ( $\text{VO}_2$ ) (74,75).

Los  $\text{NO}_3$  mejoran la biodisponibilidad de las vías que utilizan el NO (óxido nítrico), juegan un papel importante en la modulación de la función del músculo esquelético (76). Mejoran rendimiento del cuerpo incrementando la función de las fibras musculares tipo II, reduciendo el coste de ATP muscular en la producción de fuerza; aumentando la capacidad oxidativa mitocondrial, el flujo de sangre muscular, la disminución del  $\text{VO}_2$  muscular durante la realización de esfuerzo (77).

La reducción de  $\text{NO}_3$  a NO es un proceso que empieza en la boca por medio de la enzima nitrato reductasa de bacterias anaerobias facultativas de la superficie de la lengua reduciendo de  $\text{NO}_3$  a  $\text{NO}_2$  (nitritos), los cuales una parte serán reducidos a NO por el pH ácido del estómago, y otros ingresarán al torrente sanguíneo para ser reducido por la desoxihemoglobina en condiciones de hipoxia y por la enzima xantino oxidorreductasa (78) figura 6.

Una vez producido NO se une a la enzima guanilato ciclasa y la activa, esta enzima cataliza la formación de GMP cíclico a partir de GTP y como resultado de induce a la vasodilatación, gracias a esto hay un mayor aporte de nutrientes y oxígeno a las células musculares y también ayuda a la eliminación de sustratos como el lactato amoniaco causante de la fatiga muscular (79).



**Figura 6, Ruta del nitrato ( $\text{NO}_3$ ) al óxido nítrico (NO).** El nitrato, nitrito y óxido nítrico pueden volver a oxidarse a sus reacciones anteriores. NR Nitrato reductasa, XOR xantina oxidoreductasa.

La ingesta previa de jugo de betabel en el proceso de cualquier esfuerzo produce una reducción del consumo de oxígeno al submáximo, lo que aporta mayor eficiencia muscular, retrasa la aparición de fatiga y reduce la presión arterial. Esto se debe a que el NO es un potente vasodilatador. El  $\text{NO}_2$  junto con el NO actuarían disminuyendo el consumo de  $\text{O}_2$  durante un esfuerzo físico (68).

Una recomendación que los atletas busquen explorar para obtener una ayuda ergogénica de una dieta suplementada con nitrato usando una opción natural (jugo de betabel o vegetales de hojas verdes), en lugar de compuesto farmacológico. Históricamente, la exposición al nitrato en la dieta o el ambiente se considera dañina a la salud humana debido a un posible aumento en el riesgo de cáncer gástrico, fenómeno que ha sido descartado por la falta de publicaciones que lo soporten. La evidencia más reciente desafía este punto de vista e indica que el nitrato de la dieta puede otorgar beneficios a la salud (37). El NO parece ser un mediador metabólico entre la circulación sanguínea y la masa muscular, permitiendo la entrega de sustratos energéticos a los músculos implicados en el esfuerzo.

Lo anterior nos demuestra que existen compuestos y nutrientes presentes en los alimentos capaces de tener una interacción celular y logran un fin en particular, el mecanismo de acción de estos compuestos en especial los del betabel aún no están bien descritos en cuanto a la actividad física y prevención o tratamiento la hipertensión, por eso es importante realizar un análisis de la interacción celular de los compuestos presentes en el betabel y poder conocer su función sinérgica para la promoción de la salud.

## 2. JUSTIFICACIÓN

Las enfermedades crónicas no transmitibles van en aumento, principalmente por factores modificables y conductuales tales como una dieta poco saludable y la inactividad física. Cada día se desplaza el consumo de alimentos de fuentes naturales (frutas y verduras) e incrementan el consumo de alimentos procesados. Es importante llevar una dieta equilibrada con suficientes alimentos naturales para poder otorgar al organismo los nutrientes necesarios para su correcto desarrollo y funcionamiento.

En el ámbito deportivo existe un incremento en el consumo de suplementos alimenticios procesados los cuales tienen efectos secundarios sobre la salud de los consumidores. Por esta razón es importante incrementar el consumo de alimentos naturales en los deportistas que promuevan un efecto benéfico para su salud, además de potenciar sus capacidades físicas, Por ejemplo, el betabel, alimento natural, el cual es una fuente rica en nutrientes y compuestos bioactivos.

Hasta el momento existen pocos estudios que demuestren la interacción bioquímica entre los compuestos nutricionales y bioactivos del betabel que asistan la actividad ergogénica. Por esta razón es importante proponer la construcción de un mapa biológico que demuestre la sinergia de los compuestos del betabel.

### **3. HIPÓTESIS**

Un mapa biológico nos permitirá conocer la interacción entre los compuestos bioactivos y nutricionales del betabel a nivel celular durante la ergogénia en la actividad física.

### **4. OBJETIVOS:**

#### **4.1 Objetivo general**

Identificar la sinergia de los compuestos bioactivos y nutricionales del betabel mediante la construcción de un mapa biológico celular durante la ergogénia en la actividad física.

#### **4.2 Objetivos específicos**

- 1) Clasificar los compuestos nutricionales y bioactivos del betabel.
- 2) Identificar los compuestos nutricionales y bioactivos del betabel relacionados con la ergogénia en el deporte.
- 3) Construir un mapa metabólico que relacione la función sinérgica los compuestos bioactivos nivel celular en la ergogénia en el deporte.

## 5. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

### 5.1 criterios de clasificación de los compuestos nutricionales y bioactivos del betabel.

Para el cumplimiento del objetivo uno y dos, se realizó una estancia académica de 3 meses en el laboratorio de Biología de sistemas y Medicina Traslacional, a cargo del Dr. Manuel Rivera, donde se llevó a cabo una búsqueda de compuestos bioactivos presentes en el betabel en la base de datos Food data base (FoodDB). Brevemente, FooDB es una fuente comprensible de información química y biológica de compuestos bioactivos presente en alimentos. Provee información de macro y micro nutrientes, incluye los constituyentes principales de sabor, color, textura y aroma de compuestos químicos presentes en alimentos. Cada compuesto químico contiene información de composición bioquímica, fisiológica depositada y obtenida de la literatura tal como: nomenclatura médica, descripción de su estructura, clase química, fuentes de origen y presumibles efectos en la salud, así como su concentración aplicado a porciones estándares (<https://foodb.ca/>). PubChem (<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov>) es una base de datos pública sobre compuestos químicos desarrollada por el Centro Nacional de Información Biotecnológica (NCBI) y la Biblioteca Nacional de Medicina (NLM) del Instituto de Salud Pública de los Estados Unidos (NIH). El papel principal de esta base es como fuente de información química relacionada con el campo de la biomedicina y fenómenos biológicos. Cada uno de los registros en PUBCHEM está relacionado con un blanco

biológico y se encuentra curado por autoridades relacionadas (80). Se utilizó un protocolo manual de minería de datos siguiendo las siguientes instrucciones:

1) Se utilizaron como datos de entrada las palabras claves o "keywords":

I) Betabel; II) *Beta vulgaris*; III) Red Beetroot; IV) Beet y V) Remolacha

2) Se realizó una segunda búsqueda con el operador booleano "AND" y la palabra "ergogenic". Lo anterior con la finalidad de relacionar la búsqueda 1 con la búsqueda 2, es decir, establecer una relación no específica entre compuestos bioquímicos con el proceso de asistencia ergogénica.

3) Una tercera búsqueda incluyó el término "raw o crudo". La razón de la selección de esta palabra clave se debió a que el proceso de preparación del extracto de betabel debe ser sin incluir ningún tipo de aditivo ni procesamiento que altere las propiedades naturales.

## **5.2. Identificación de los compuestos nutricionales y bioactivos del betabel relacionados con la ergogénia en el deporte.**

### **5.2.1 Procesamiento de la selección de información y análisis de datos.**

El resultado de las búsquedas se agrupó de acuerdo a uso de palabras claves descritas anteriormente asociadas a artículos publicados entre los años 2011 y 2021. Se integró como criterio de inclusión el resultado de la búsqueda del compuesto bioquímico con la palabra "Ergogénic", por ejemplo "sucrose AND Ergogenic" y se registró el identificador digital del objeto (DOI). El análisis de artículos contempló el posible efecto ergogénico en el rendimiento deportivo de los

compuestos bioactivos. Los compuestos con artículos que evidencian un efecto ergogénico se incluyeron como compuestos ergogénicos.

### **5.3 Construcción un mapa metabólico que relacione la función sinérgica los compuestos bioactivos nivel celular en la ergogénia en el deporte.**

#### **5.3.1 Diseño de la sinergia durante la ergogenia entre los compuestos bioactivos**

Para comprender la función a nivel celular durante la actividad física de los compuestos seleccionados con función ergogénica, se construyeron mapas funcionales. Brevemente, teniendo los resultados de los compuestos bioactivos se realizó la interacción de los compuestos con mayor porcentaje presente en el betabel y mayor número de artículos publicados con el programa GINsim (Gene Interaction Network simulation).

Finalmente se realizó la interacción de los compuestos ergogénicos seleccionados, con el programa GINsim versión 3.0.0. GINsim es una herramienta informática desarrollada en java, que consiste en simular modelos cualitativos de redes de regulación genética basado en un formalismo lógico discreto. GINsim permite al usuario especificar un modelo en términos de funciones lógicas asíncronas y multivaluadas, y simular y/o analizar su comportamiento dinámico cualitativo. Para almacenar redes reguladoras, GINsim se basa en un formato de archivo XML específico llamado GINML además, pueden generarse archivos ZIP

(extensión.zginml), que contienen, además del fichero, archivos adicionales para mutaciones, estados iniciales y otras definiciones de parámetros de simulación. GINsim facilita la exportación en varios formatos de archivo como: Graphviz, BioLayout Express 3D, Cytoscape, Scalable Vector Graphics (SVG), Integrated Net Analyzer (INA). En función de los datos disponibles, los modelos lógicos también pueden utilizarse como plantilla para diseñar modelos más cuantitativos, utilizando conjuntos de programas informáticos específicos (<http://ginsim.org>).

## **6. RESULTADOS**

### **6.1 Tipificación los compuestos nutricionales y bioactivos.**

En la base de datos FooDb, con la palabra Red Beetroot se identificaron 4157 compuestos presentes en el betabel, posterior a añadir la palabra clave “crudo” se eliminaron 4,013 compuestos, identificando un total de 144 compuestos nutricionales y bioactivos presentes en distintas concentraciones en el betabel crudo, con esta búsqueda se logró el primer objetivo tabla 4.

**Tabla 4. Compuestos nutricionales y bioactivos presentes en el betabel.**

<b>Compuestos ácidos</b>							
Ácido 1,2,3-propanoicocarboxílico	Ácido betalámico	Ácido ferúlico	Ácido hexadecanoico	Ácido octadecadienoico	Ácido propanodioico	Ácido siringico	
Ácido 3-(2-hidroxifenil)propanoico	Ácido cafeico	Ácido fítico	Ácido hexanodioico	Ácido octadecanoico	Ácido propanoico	Ácido tartárico	
Ácido 4-hidroxibenzoico	Ácido clorogénico	Ácido glioxílico	Ácido homogentísico	Ácido oxálico	Ácido quínico	Ácido vanílico	
Ácido aconítico	Ácido daúxico	Ácido glutárico	Ácido nicotínico	Ácido p-cumárico	Ácido salicílico	Ácido (S)-2-azetidincarboxílico	
Ácido cítrico							
<b>Aminoácidos y derivados</b>							
Ácido D-aspartico	Arginina	L-cistina	L-lisina	L-tirosina	Triptófano	Betaína	Prebetanina
Ácido L-aspartico	Dopamina	L-histidina	L-metionina	L-treonina	Vulgaxantina I	Betaína	
Ácido L-glutámico	Glicina	L-isoleucina	L-prolina	L-triptófano	Vulgaxantina II	Neobetanina	
Ácido 4-aminobutírico	L-alanina	L-leucina	L-Serina	Ornitina	Epsilon-polilisina		
<b>Elementos</b>							
Aluminio	Boro	Circonio	Estaño	Litio	Molibdeno	Rubidio	Titanio
Arsénico	Bromo	Cobalto	Estroncio	Magnesio	Nitrógeno	Selenio	Yodo
Azufre	Cadmio	Cobre	Fosforo	Manganeso	Níquel	Silicio	Zinc
Bario	Calcio	Cromo	Hierro	Mercurio	Potasio	Sodio	Plomo
<b>Carbohidratos</b>							
Beta-D-glucopiranososa	D-fructosa	D-ribulosa	Coniferina	D-galactosa	Sedoheptulosa	Rafinosa	
Beta-fructofuranosidasa	D-xilosa	Sacarosa	L-arabinosa	D-Glucosa	a	Betanina	
<b>Lípidos</b>							
Ácido alfa-linoleico	Campesterol	Farnesol	Fitoesteroles	Beta-sitosterol	Ácido oleico	Ácido alfa-linolénico	
Alfa-espinasterol 3-glucósido							
<b>Vitaminas y derivados</b>							
Fitomenadiona	Alfa-tocoferol	Riboflavina	Tiamina	Retinol	Piridoxina		
Ácido fólico	Betacaroteno	Ácido L-ascórbico	Ácido pantoténico				
<b>Compuestos fenólicos</b>							
Alantoína	Luteolina	Betavulgarina	Betagarina	Isorhamnetin	Quercetina	Hidantoína	
<b>Compuestos nitrogenados</b>							
Guanina	hipoxantina	Guanosina	Heteroxantina	Inosina			
<b>Otros</b>							
(R)-Oxipeucedanina	Protoporfirina	salicilatos	Octacosanol	Vanilina	Betanidina	(E)-2-fenil-2-butenal	
Formaldehído	Acetamida	Saponinas					

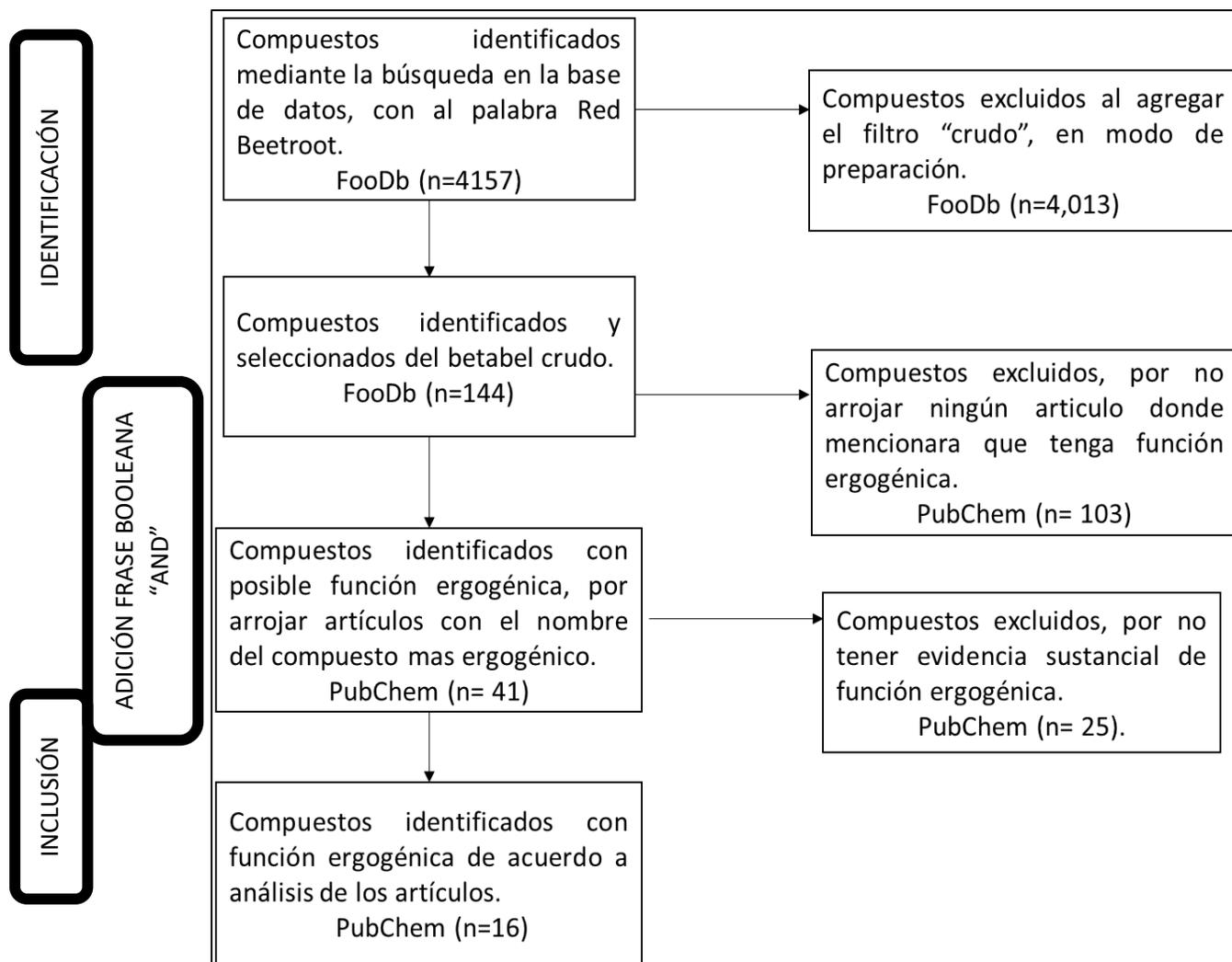
## 6.2 Clasificación y concentración de los compuestos nutricionales y bioactivos con actividad ergogénica.

De los 144 compuestos encontrados en la base de datos FooDb presentes en el betabel crudo, se identificaron a 41 compuestos con posible función ergogénica de acuerdo con el análisis de cada compuesto en la base de datos PubChem. De estos 41 compuestos, se analizaron los artículos localizándolos con el DOI obtenido. Posterior a esto se eliminaron 25 compuestos debido a que no tenían el suficiente sustento científico de mejorar el rendimiento deportivo, obteniendo así 16 compuestos (tabla 5) los cuales fueron: sacarosa, nitrógeno, calcio, betaína, L-leucina, L-alanina, magnesio, L-arginina, L-histidina, potasio, luteolina, Ácido fólico, quercetina, piridoxina, tiamina, y dopamina, tabla 5.

**Tabla 5, compuestos nutricionales y bioactivos con función ergogénica.**

<b>Compuesto</b>	<b>Cantidad del compuesto</b>
<i>Sacarosa</i>	<i>11075.000 mg/100 g</i>
<i>Nitrógeno</i>	<i>1110.750 mg/100 g</i>
<i>Calcio</i>	<i>382.500 mg/100 g</i>
<i>Betaína</i>	<i>185.000 mg/100 g</i>
<i>L-Leucina</i>	<i>157.450 mg/100 g</i>
<i>L-Alanina</i>	<i>142.950 mg/100 g</i>
<i>Magnesio</i>	<i>115.750 mg/100 g</i>
<i>Arginina</i>	<i>100.425 mg/100 g</i>
<i>L-Histidina</i>	<i>18.00mg/100 g</i>
<i>Potasio</i>	<i>2096.850 mg/100 g</i>
<i>Luteolina</i>	<i>0.36600 mg/100 g</i>
<i>Ácido fólico</i>	<i>0.26550 mg/100 g</i>
<i>Quercetina</i>	<i>0.13400 mg/100 g</i>
<i>Piridoxina</i>	<i>0.12750 mg/100 g</i>
<i>Tiamina</i>	<i>0.02500 mg/100 g</i>
<i>Dopamina</i>	<i>No encontrado</i>

Figura 7, Proceso de selección realizado para identificar los compuestos del Betabel.



De acuerdo con los artículos e información que presentan cada compuesto y a su análisis se tomara en cuenta los compuestos con mayor número de artículos encontrados (tabla 6) y con un porcentaje importante de el compuesto presente en el betabel.

**Tabla 6. Número de artículos encontrados de cada compuesto.**

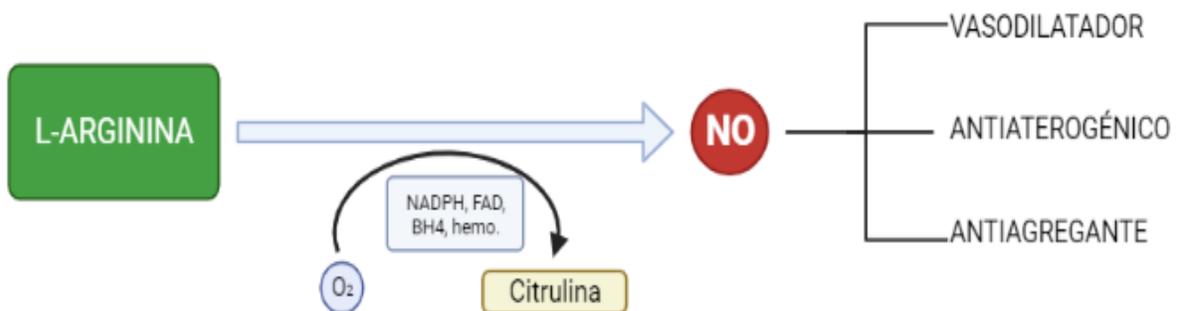
<b>Compuesto</b>	<b>No. De Artículos Científicos</b>
<i>Sacarosa</i>	2
<i>Nitrógeno</i>	81
<i>Calcio</i>	30
<i>Betaína</i>	8
<i>L-Leucina</i>	2
<i>L-Alanina</i>	1
<i>Magnesio</i>	6
<i>Arginina</i>	31
<i>L-Histidina</i>	16
<i>Potasio</i>	1
<i>Tiamina</i>	1
<i>Luteolina</i>	1
<i>Ácido fólico</i>	1
<i>Quercetina</i>	9
<i>Piridoxina</i>	1
<i>Dopamina</i>	1

Se identificaron 16 compuestos bioactivos del betabel con función ergogénica, en particular, la arginina, el calcio y el nitrógeno (nitrato) mostraron una mayor cantidad de publicaciones como resultado de la búsqueda. Se tomarán estos tres compuestos para identificar su efecto sinérgico y ergogénico durante el deporte.

## Arginina.

La arginina es un aminoácido semiesencial que en condiciones especiales se convierte en un aminoácido esencial como la disfunción intestinal y renal, el crecimiento infantil, y estrés catabólico (81). Este aminoácido está involucrado en secreción de hormonas, como el glucagón, prolactina, hormona del crecimiento, insulina y catecolaminas. También se relaciona directamente con el metabolismo, síntesis de proteínas, síntesis de creatina, y funcionamiento del ciclo de la urea, (82).

Recientemente se ha mostrado un interés de este aminoácido por el papel que juega como precursor metabólico del óxido nítrico y su acción vasodilatadora, antiagregante plaquetaria y antiaterogénica, al cual se le atribuye un papel protector en la salud cardiovascular (83), figura 8.



**Figura 8, vía de la arginina a óxido nítrico (NO) y su función cardiovascular, O<sub>2</sub> oxígeno, tetrahidrobiopterina (BH<sub>4</sub>), flavín adenín dinucleótido (FAD), Nicotiamida-Adenina Dinucleótido fosfato (NADPH).**

La arginina promueve un aumento de la perfusión sanguínea en el musculo este efecto ayuda a eliminar metabolitos como el amoniaco y el lactato que están directamente relacionados con la fatiga muscular. Adicionalmente, el óxido nítrico contribuye con el transporte de ATP y oxígeno necesarios para la recuperación muscular, así como la síntesis de proteínas (84,85). Estos efectos se consideran como parte de la asistencia ergogénica durante y/o después del ejercicio.

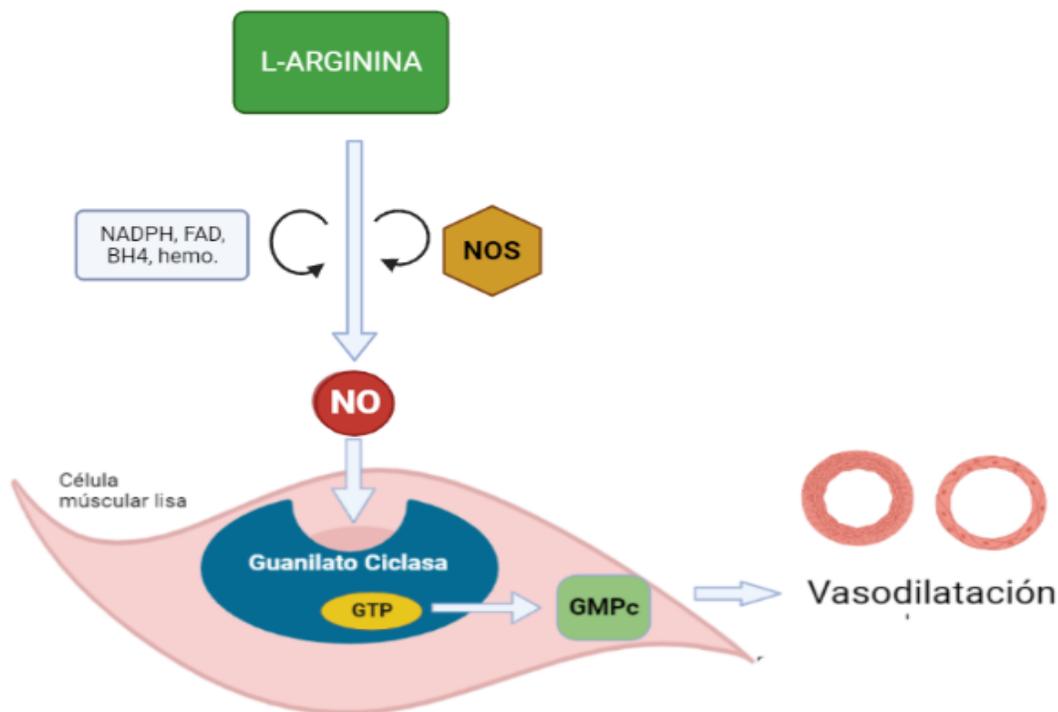
#### **Mecanismo de acción de la arginina en la vasodilatación.**

La arginina es importante para la producción de óxido nítrico el cual es un potente vasodilatador en cual se basa en la generación de guanosinmonofosfato cíclico (GMPc), el óxido nítrico es una molécula en forma de gas que es producida endógenamente. La síntesis de óxido nítrico depende de la acción de la enzima Óxido Nítrico Sintasa (NOS) el sustrato básico de la NOS es la arginina. NOS convierte la arginina en óxido nítrico a través de una reacción donde intervienen distintas enzimas, un agente reductor Nicotiamida-Adenina Dinucleótido fosfato (NADPH), y cofactores como: flavín adenín dinucleótido (FAD), tetrahidrobiopterina (BH<sub>4</sub>) además de la participación del grupo Hemo y oxígeno (86,87).

Una vez producido el NO se difunde fácilmente de las células endoteliales a las células musculares lisas, ahí va a estimular a la enzima guanilato ciclasa y esta

cataliza la formación de GMPc a partir de guanosín trifosfato (GTP), que finalmente favorece la vasodilatación arterial, figura 9 (88).

**Figura 9. Mecanismo de acción de la arginina en la vasodilatación.**



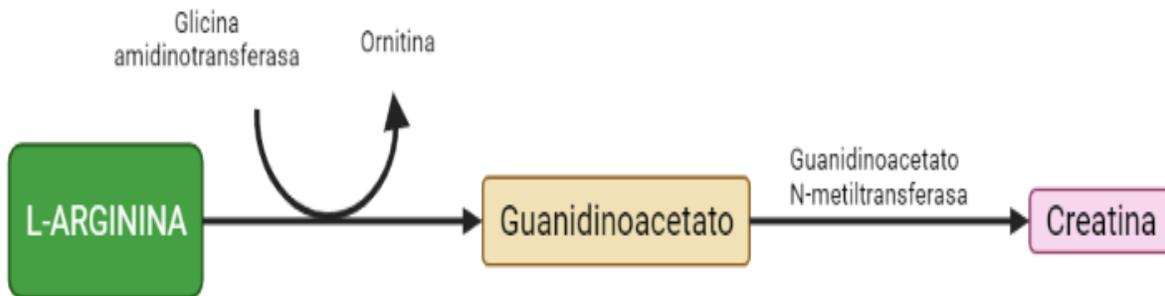
Ruta de la arginina y enzimas que participan para vasodilatación, tetrahydrobiopterina (BH4), Nicotiamida-Adenina Dinucleótido fosfato (NADPH), flavín adenín dinucleótido (FAD), además de la participación del grupo Hemo y oxígeno.

### **Síntesis de creatina**

La arginina además ser precursora del óxido nítrico también es necesaria para la síntesis de creatina (Cr), la cual es iniciada por una enzima mitocondrial llamada glicina amidinotransferasa, la cual transfiere el grupo guanidino de la arginina a la

glicina para formar guanidinoacetato y ornitina. Posteriormente el guanidinoacetato es metilado por otra enzima llamada guanidinoacetato N-metiltransferasa para formar creatina (figura 10) que es liberada en la circulación donde es captada por los nervios y el musculo esquelético, el 95% de la creatina se almacena en el músculo esquelético en dos formas distintas, un 40% como creatina libre (Cr) y el otro 60% en su forma fosforilada como fosfocreatina (PC) (89,90).

**Figura 10. Síntesis de creatina a partir de L-arginina.**



Se muestra la ruta de la L-arginina para la formación de creatina y sus coenzimas relacionadas.

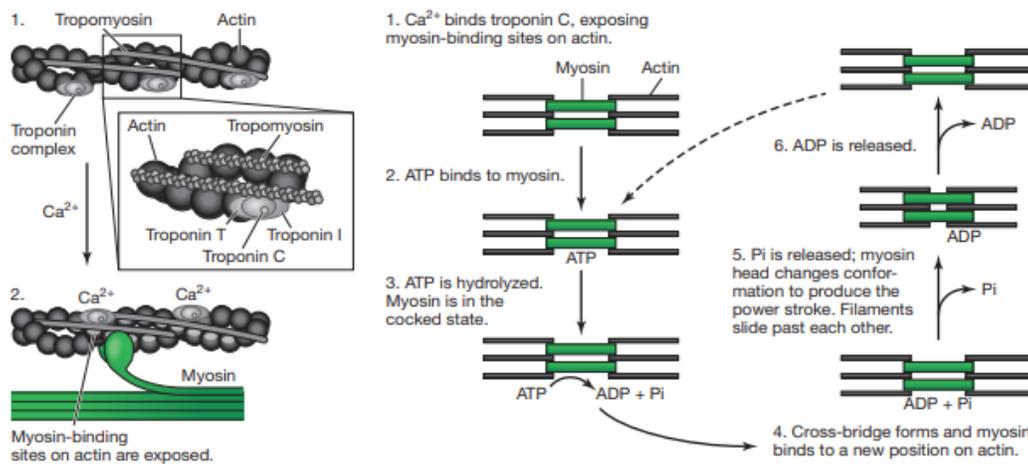
### **Calcio y contracción muscular**

El calcio juega un papel muy importante durante la contracción muscular, y es la base de todos los movimientos esqueléticos. Los músculos esqueléticos están compuestos por fibras musculares, que están hechas de unidades llamadas sarcómeros, los cuales son unidad funcional de la contracción del musculo

esquelético. Cada sarcómero está compuesto por filamentos gruesos (miosina) y delgados (actina) (91). La contracción muscular se ejerce cuando estos filamentos se deslizan unos sobre otro llevando a cabo un acortamiento de sarcómero y por lo tanto del músculo.

Si los niveles de calcio intracelular son elevados se desencadena la contracción del músculo esquelético. El calcio se une a la troponina C en los filamentos de la actina provocando un cambio de conformación de la tropomiosina, esta unión va a desplazar la tropomiosina y expone los sitios de unión de la actina para que la cabeza de miosina se pueda unir. Para esta unión la miosina necesita ser activada y esto ocurre cuando el ATP se une a la cabeza de la miosina y se produce la hidrólisis del ATP liberando ADP y un fosforo inorgánico (Pi), la energía liberada de la hidrólisis activa la cabeza de miosina, la cual se une a la actina formando puentes cruzados, la molécula de fosfato es liberada, a continuación, el ADP se libera y se produce un golpe de fuerza, el cual hace que los filamentos se deslicen entre sí y se acorte el músculo. Posterior a esto se une una nueva molécula de ATP a la cabeza de miosina y se rompe la unión entre la actina y miosina para así repetir el proceso (92).

**Figura 11. Mecanismo de acción del calcio en la contracción muscular.**



Se muestra como calcio desencadena la contracción en el musculo estriado, ADP adenosina difosfato, ATP adenosina trifosfato, Pi fosforo inorgánico, Ca calcio Tomado de Kuo, I.2015.

### **6.3 Realización de un modelo que relacione la función sinérgica los compuestos bioactivos nivel celular en la ergogénia en el deporte.**

Para la realización de la interacción de las vías de los compuestos seleccionados (arginina, nitrato y calcio), con el programa Ginsim, se realizó primero la ruta metabólica de cada vía por separado. Posteriormente se realizó la integración de las vías metabólicas relacionando los compuestos químicos que tenían en común ambas rutas metabólicas.

En nuestro modelo existen dos formas de producir óxido nítrico, una es mediante los nitratos y la otra por medio de la arginina, en la vía de los nitratos la reducción

de  $\text{NO}_3$  a  $\text{NO}$  es un proceso que empieza en la boca por medio de la enzima nitrato reductasa de bacterias anaerobias facultativas de la superficie de la lengua reduciendo de  $\text{NO}_3$  a  $\text{NO}_2$  (nitritos), los cuales una parte serán reducidos a  $\text{NO}$  por el pH ácido del estómago, y otros ingresarán al torrente sanguíneo para ser reducido por la desoxihemoglobina y por la enzima xantino oxidorreductasa. Y la otra forma de obtener  $\text{NO}$  es por la arginina por medio de la acción de la enzima óxido nítrico sintasa (NOS) que es el sustrato básico esta enzima es la arginina, también interviene un agente reductor Nicotiamida-Adenina Dinucleótido fosfato (NADPH), y cofactores como: flavín adenín dinucleótido (FAD), tetrahidrobiopterina ( $\text{BH}_4$ ) además de la participación del grupo Hemo y oxígeno. En este momento se puede distinguir la sinergia de los compuestos de nitrato y arginina.

Una vez producido el  $\text{NO}$  se difunde fácilmente de las células endoteliales a las células musculares lisas, ahí el  $\text{NO}$  se une a la enzima guanilato ciclasa y la activa, esta enzima cataliza la formación de GMP cíclico a partir de GTP y como resultado de induce a la vasodilatación, la cual favorece el aporte de nutrientes, ATP y oxígeno al musculo esquelético, y también nos ayuda a la eliminación de sustratos como el amoníaco y lactato productos de la fatiga muscular.

Otro beneficio de la vasodilatación en cuanto a la salud es un mayor flujo sanguíneo que promueve la Inhibición de la actividad plaquetaria, un efecto vasoprotector y por consecuencia disminución de la presión arterial.

La arginina además de producir óxido nítrico también es precursora de la síntesis de creatina la cual aportara energía durante el ejercicio físico. Esta reacción es

iniciada por la enzima mitocondrial glicina amidinotransferasa, la cual transfiere el grupo guanidino de la arginina a la glicina para formar guanidinoacetato y ornitina. Posteriormente el guanidinoacetato es metilado la enzima guanidinoacetato N-metiltransferasa para formar creatina. Posterior a esto la creatina se va a fosforilar a fosfocreatina en esta reacción intervine la enzima creatina quinasa y un ATP. La fosfocreatina se encuentra almacenada en el músculo, la cual dona un grupo fosfato al ADP para poder generar ATP, listo para ser utilizado como energía.

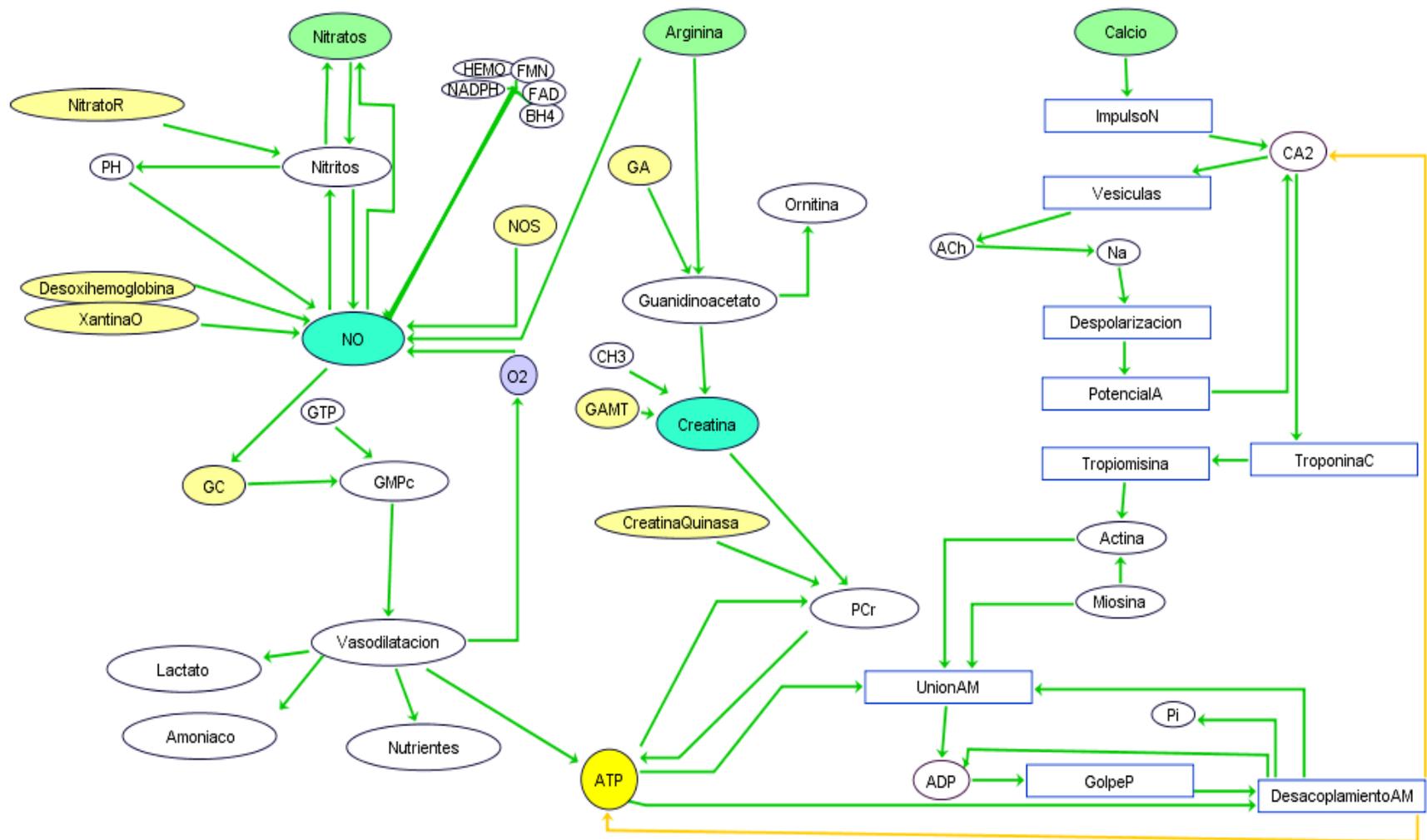
Este mayor aporte de ATP al músculo tiene una relación con la contracción muscular, debido a que se necesita de ATP para poder realizar la unión y separación de la actina y miosina encargadas de la contracción muscular. Pero para poder generar esta contracción muscular es necesario el calcio, el cual es otro de los compuesto seleccionados. El calcio tiene dos papeles fundamentales, el primero es que actúa como un mensajero para poder realizar un potencial de acción, esto permitirá que los iones de calcio fluyan al sarcoplasma y aumente el calcio intracelular. Un impulso nervioso llega a través de la neurona hasta la fibras musculares por los axones, el cual estimula la apertura de los canales de calcio favoreciendo el flujo de iones de calcio dentro de la membrana. Los iones de calcio promueven la fusión de las vesículas sinápticas con la membrana celular, y libera su contenido de acetilcolina en la hendidura sináptica, las moléculas de acetilcolina se unen al receptor en la placa terminal, lo que causa un flujo de sodio al interior de la célula muscular, y crea el potencial de acción de la placa motora, esto despolariza

la membrana, esto permite que los iones de calcio fluyan al sarcoplasma y aumente el calcio intracelular.

En este punto el segundo papel fundamental del calcio es unirse a la troponina C y provocar un cambio de conformación de la tropomiosina teniendo como resultado dejar expuestos los sitios de unión de la actina y poder iniciar la contracción muscular. Para que la contracción muscular continúe es necesario el aporte de nutrientes, calcio y ATP a las células musculares y este aporte de energía se genera por medio de distintas vías que trabajan conjunto para lograr el efecto ergogénico deseado.

A continuación, se presenta la propuesta de mapa metabólico donde se observa la sinergia de las rutas encontradas, de los compuestos de nitrato, arginina y calcio, y su efecto ergogénico durante el deporte (figura 12).

Figura 12. Propuesta de mapa biológico de la sinergia entre las rutas de arginina, calcio y nitratos.



Se muestra la interacción de las vías de cada compuesto (nitrito, arginina y calcio), sus enzimas y coenzimas involucradas en cada reacción, NitratoR , nitrato reductasa; NO óxido nítrico; xantinaO xantina oxireductasa; GC guanilato ciclasa, O<sub>2</sub> oxígeno; NOS óxido nítrico sintasa; GAMT; GA glicina aminotransferasa ; GAMT guanidinoacetato N-metiltransferasa; PCr fosfocreatina, ATP adenosin trifosfato; Pi; fosforo inorgánico; ADP adenosin difosfato; CA<sub>2</sub> calcio; .

## 7. DISCUSIÓN

En el presente trabajo se pudo observar que el contenido nutricional del betabel contribuye a mejorar el rendimiento deportivo otorgando una función ergogénica, esto coincide con las declaraciones de Jones A. (2011), Wylie LJ, *et al.* (2013).

Estos resultados guardan relación con lo que sostienen Husmann F, *et al* (2019), Bahadoran Z, *et al* (2017), Jones AM. (2014), Hoon MW, *et al* (2014) quienes señalan que el nitrato es el compuesto principal del betabel que otorga una función ergogénica, estos autores expresan que los deportistas que consumen jugo de betabel previo al ejercicio físico o una competencia tienen un mejor rendimiento físico gracias al efecto vasodilatador que otorga el nitrato, ello es acorde con lo que en este estudio se halla.

Sin embargo, en lo que no coincide el estudio con los autores referidos es que este último compuesto del betabel (nitrato) no es el único que otorga una función ergogénica durante la rendimiento deportivo, sino que se lograron identificar otros compuestos (calcio y arginina) presentes en betabel a los cuales se le atribuyen un efecto ergogénico trabajando en conjunto, al calcio se le atribuyen efectos sobre la señalización y contracción muscular. A la arginina efecto vasodilatador promoviendo la formación de óxido nítrico, así como la síntesis de ATP por medio de la fosfocreatina. Sosteniendo así que el contenido nutricional del betabel puede otorgar una función ergogénica no solo con el efecto de un solo compuesto sino con

la interacción de otros nutrientes y compuestos como los son el nitrato, el calcio y la arginina, presentes en un mismo alimento.

En la actualidad hacen falta más estudios en cuestión molecular del impacto que tiene el contenido nutricional del betabel en el rendimiento deportivo, por lo tanto, se seguirán estudiando con más profundidad para tener una mayor evidencia científica.

## **8. CONCLUSIÓN**

Con el presente trabajo se identificaron compuestos nutricionales y bioactivos presentes en el betabel. También se logró identificar 3 compuestos (nitrato, arginina y calcio) que funcionan como ayuda ergogénica durante la actividad física.

Finalmente se realizó una propuesta de red de interacción de estos 3 compuestos, para identificar su papel dentro del metabolismo, la sinergia que existe entre ellos y el efecto que ejercen durante la actividad física.

Se pudo observar que el betabel es una buena opción de alimento con efecto ergogénico no solo por su alto contenido en nitratos, si no por su contenido total de nutrientes y compuestos que se pueden encontrar en su forma natural.

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Organization WH. Global action plan for the prevention and control of noncommunicable diseases 2013-2020. World Health Organization; 2013.
2. OMS. Organización Mundial de la Salud, Enfermedades no transmisibles. 2022; Available from: <https://www.paho.org/es/temas/enfermedades-no-transmisibles>
3. Fuchs FD, Whelton PK. High Blood Pressure and Cardiovascular Disease. Hypertension. 2020;(Cvd):285–92.
4. Organización WH. 2008-2013 Action Plan for the Global Strategy for the Prevention and Control of Noncommunicable Diseases The six objectives of the 2008-2013 Action Plan are : 2013;
5. Instituto de Métrica y Evaluación de la Salud. Red de colaboración sobre la carga mundial de morbilidad. Global Burden of Disease Study 2019 (GBD 2019). 2019;
6. Tamimi RM, Spiegelman D, Smith-Warner SA, Wang M, Pazaris M, Willett WC, et al. Population attributable risk of modifiable and nonmodifiable breast cancer risk factors in postmenopausal breast cancer. *Am J Epidemiol*. 2016;184(12):884–93.
7. Izquierdo Hernández A, Armenteros Borrell M, Lancés Cotilla L, Martín González I. Alimentación saludable. *Rev Cubana Enferm*. 2004;20(1):1.
8. Cordain L, Eaton SB, Sebastian A, Mann N, Lindeberg S, Watkins BA, et al. Origins and evolution of the Western diet: health implications for the 21st century. *Am J Clin Nutr*. 2005;81(2):341–54.
9. Koene RJ, Prizment AE, Blaes A, Konety SH. Shared risk factors in cardiovascular disease and cancer. *Circulation*. 2016;133(11):1104–14.
10. Stipanuk MH, Caudill MA. Biochemical, physiological, and molecular aspects of human nutrition-E-book. Elsevier health sciences; 2018.
11. Choe E, Min DB. Mechanisms of Antioxidants in the Oxidation of Foods. *Compr Rev Food Sci Food Saf*. 2009;8(4):345–58.
12. Russo G, Curcio F, Bulli G, Aran L, Della-morte D, Testa G, et al. Oxidative Stress and Diseases. *Oxidative Stress Dis*. 2012;757–72.
13. Mechchate H, Allam A EI, Omari N EI, Hachlafi N EI, Shariati MA, Wilairatana P, et al. Vegetables and Their Bioactive Compounds as Anti-Aging Drugs. *Molecules*. 2022;27(7).
14. Konstantinidi M, Koutelidakis AE. Functional Foods and Bioactive

Compounds: A Review of Its Possible Role on Weight Management and Obesity's Metabolic Consequences. *Medicines*. 2019;6(3):94.

15. Drago Serrano ME, López López M, Sainz Espuñes T del R. Componentes bioactivos de alimentos funcionales de origen vegetal. *Rev Mex Ciencias Farm* [Internet]. 2006 Jun 16;37(4):58–68. Available from: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57937408>
16. Martínez-Navarrete N, del Mar Camacho Vidal M, José Martínez Lahuerta J. Los compuestos bioactivos de las frutas y sus efectos en la salud. *Act Diet*. 2008;12(2):64–8.
17. Castro Acosta DML. Polifenoles: Compuestos Bioactivos Con Efectos Benéficos En La Prevención De Diabetes Tipo 2. *REDCieN* [Internet]. 2021;1(1):6. Available from: <http://www.redcien.com/index.php/redcien/article/view/5>
18. Quiñones M, Miguel M, Alexandre A. Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular . Vol. 27, *Nutrición Hospitalaria* . scieloes ; 2012. p. 76–89.
19. Guevara Cruz M. Estudio del efecto de un portafolio dietario (nopal, chía, soya y avena) sobre parámetros asociados con el síndrome metabólico. Universidad Nacional Autónoma de México.; 2011.
20. Stintzing FC, Carle R. Cactus stems (*Opuntia* spp.): A review on their chemistry, technology, and uses. *Mol Nutr Food Res*. 2005;49(2):175–94.
21. Frati-Munari AC, Fernández-Harp JA, de la Riva H, Ariza-Andraca R, del Carmen Torres M. Effects of nopal (*Opuntia* sp.) on serum lipids, glycemia and body weight. *Arch Invest Med (Mex)* [Internet]. 1983 Apr 1;14(2):117–25. Available from: [https://www.unboundmedicine.com/medline/citation/6314922/Effects\\_of\\_nopal\\_\\_Opuntia\\_sp\\_\\_\\_on\\_serum\\_lipids\\_glycemia\\_and\\_body\\_weight\\_](https://www.unboundmedicine.com/medline/citation/6314922/Effects_of_nopal__Opuntia_sp___on_serum_lipids_glycemia_and_body_weight_)
22. H. G, D.W.T. N, O. H, T. A, I. B, T. G, et al. Improvement of serum lipids and blood pressure during intervention with n-3 fatty acids was not associated with changes in insulin levels in subjects with combined hyperlipidaemia. *J Intern Med* [Internet]. 1995;237(3):249–59. Available from: <http://ovidsp.ovid.com/ovidweb.cgi?T=JS&PAGE=reference&D=emed3&NEWS=N&AN=1995081141>
23. Sirtori CR, Crepaldi G, Manzato E, Mancini M, Rivellesse A, Paoletti R, et al. One-year treatment with ethyl esters of n-3 fatty acids in patients with hypertriglyceridemia and glucose intolerance reduced triglyceridemia, total cholesterol and increased HDL-C without glycemicalterations. *Atherosclerosis*. 1998;137(2):419–27.
24. Vázquez-Ovando Alfredo A4 - Rosado-Rubio, Gabriel A4 - Chel-Guerrero,

- Luis A4 - Betancur-Ancona, David AA-V-O. Physicochemical properties of a fibrous fraction from chia (*Salvia hispanica* L.). *Leb + Technol* [Internet]. 2009;v. 42(1):168-173–2009 v.42 no.1. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2008.05.012>
25. Mattioli R, Francioso A, Mosca L, Silva P. Anthocyanins: A Comprehensive Review of Their Chemical Properties and Health Effects on Cardiovascular and Neurodegenerative Diseases. *Molecules*. 2020;25(17).
  26. Solverson P. Anthocyanin Bioactivity in Obesity and Diabetes : and Periphery. *Cells*. 2020;9:1–21.
  27. Kanner J, Harel S, Granit R. BetalainsA New Class of Dietary Cationized Antioxidants. *J Agric Food Chem* [Internet]. 2001 Nov 1;49(11):5178–85. Available from: <https://doi.org/10.1021/jf010456f>
  28. Kujala T, Loponen J, Pihlaja K. Betalains and Phenolics in Red Beetroot (*Beta vulgaris*) Peel Extracts: Extraction and Characterisation. *Zeitschrift für Naturforsch C* [Internet]. 2001;56(5–6):343–8. Available from: <https://doi.org/10.1515/znc-2001-5-604>
  29. Costa APD, Hermes VS, Rios A de O, Flôres SH. Minimally processed beetroot waste as an alternative source to obtain functional ingredients. *J Food Sci Technol*. 2017;54:2050–8.
  30. Ramírez-Melo LM, Hernández-Traspeña JL, Cruz-Cansino N del S, Delgado-Olivares L, Ramírez-Moreno E, Ariza-Ortega JA, et al. Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del jugo de betabel (*Beta vulgaris* L.) termoultrasonificado. *Educ y Salud Boletín Científico Ciencias la Salud del ICSa*. 2019;7(14):60–4.
  31. Mirmiran P, Houshialsadat Z, Gaeini Z, Bahadoran Z, Azizi F. Functional properties of beetroot (*Beta vulgaris*) in management of cardio-metabolic diseases. *Nutr Metab (Lond)* [Internet]. 2020;17(1):3. Available from: <https://doi.org/10.1186/s12986-019-0421-0>
  32. Wootton-Beard PC, Ryan L. A beetroot juice shot is a significant and convenient source of bioaccessible antioxidants. *Proc Nutr Soc*. 2011;70(OCE4):2011.
  33. Pitalua E, Jimenez M, Vernon-Carter EJ, Beristain CI. Antioxidative activity of microcapsules with beetroot juice using gum Arabic as wall material. *Food Bioprod Process* [Internet]. 2010;88(2):253–8. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960308510000039>
  34. Clifford T, Howatson G, West DJ, Stevenson EJ. The Potential Benefits of Red Beetroot Supplementation in Health and Disease. Vol. 7, *Nutrients* . 2015.
  35. Lundberg JO, Weitzberg E, Gladwin MT. The nitrate–nitrite–nitric oxide

- pathway in physiology and therapeutics. *Nat Rev Drug Discov* [Internet]. 2008;7(2):156–67. Available from: <https://doi.org/10.1038/nrd2466>
36. Ninfali P, Angelino D. Nutritional and functional potential of *Beta vulgaris* cicla and rubra. *Fitoterapia* [Internet]. 2013;89:188–99. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0367326X13001585>
  37. Gilchrist M, Winyard PG, Benjamin N. Dietary nitrate – Good or bad? *Nitric Oxide* [Internet]. 2010;22(2):104–9. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1089860309001256>
  38. Vanhatalo A, Bailey SJ, Blackwell JR, DiMenna FJ, Pavey TG, Wilkerson DP, et al. Acute and chronic effects of dietary nitrate supplementation on blood pressure and the physiological responses to moderate-intensity and incremental exercise. *Am J Physiol Integr Comp Physiol*. 2010;
  39. Wootton-Beard PC, Brandt K, Fell D, Warner S, Ryan L. Effects of a beetroot juice with high neobetanin content on the early-phase insulin response in healthy volunteers. *J Nutr Sci*. 2014;3.
  40. Weitzberg E, Lundberg JON. Nonenzymatic Nitric Oxide Production in Humans. *Nitric Oxide* [Internet]. 1998;2(1):1–7. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1089860397901622>
  41. Bailey SJ, Winyard P, Vanhatalo A, Blackwell JR, DiMenna FJ, Wilkerson DP, et al. Dietary nitrate supplementation reduces the O<sub>2</sub> cost of low-intensity exercise and enhances tolerance to high-intensity exercise in humans. *J Appl Physiol*. 2009;107(4):1144–55.
  42. Jajja A, Sutjarjoko A, Lara J, Rennie K, Brandt K, Qadir O, et al. Beetroot supplementation lowers daily systolic blood pressure in older, overweight subjects. *Nutr Res*. 2014;34(10):868–75.
  43. Keen JT, Levitt EL, Hodges GJ, Wong BJ. Short-term dietary nitrate supplementation augments cutaneous vasodilatation and reduces mean arterial pressure in healthy humans. *Microvasc Res* [Internet]. 2015;98:48–53. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0026286214001915>
  44. Kelly J, Fulford J, Vanhatalo A, Blackwell JR, French O, Bailey SJ, et al. Effects of short-term dietary nitrate supplementation on blood pressure, O<sub>2</sub> uptake kinetics, and muscle and cognitive function in older adults. *Am J Physiol - Regul Integr Comp Physiol*. 2013;304(2):73–83.
  45. Bailey SJ, Blackwell JR, Wylie LJ, Holland T, Winyard PG, Jones AM. Improvement in blood pressure after short-term inorganic nitrate supplementation is attenuated in cigarette smokers compared to non-smoking controls. *Nitric Oxide*. 2016;61:29–37.

46. Kerley CP, Dolan E, Cormican L. Nitrate-rich beetroot juice selectively lowers ambulatory pressures and LDL cholesterol in uncontrolled but not controlled hypertension: a pilot study. *Irish J Med Sci.* 2017;186(4):895–902.
47. Kapil V, Khambata RS, Robertson A, Caulfield MJ, Ahluwalia A. Dietary nitrate provides sustained blood pressure lowering in hypertensive patients: a randomized, phase 2, double-blind, placebo-controlled study. *Hypertension.* 2015;65(2):320–7.
48. Velmurugan S, Gan JM, Rathod KS, Khambata RS, Ghosh SM, Hartley A, et al. Dietary nitrate improves vascular function in patients with hypercholesterolemia: a randomized, double-blind, placebo-controlled study. *Am J Clin Nutr.* 2016;103(1):25–38.
49. Webb AJ, Patel N, Loukogeorgakis S, Okorie M, Aboud Z, Misra S, et al. Acute blood pressure lowering, vasoprotective, and antiplatelet properties of dietary nitrate via bioconversion to nitrite. *Hypertension.* 2008;51(3):784–90.
50. Hughes WE, Ueda K, Treichler DP, Casey DP. Effects of acute dietary nitrate supplementation on aortic blood pressure and aortic augmentation index in young and older adults. *Nitric Oxide.* 2016;59:21–7.
51. Kapil V, Milsom AB, Okorie M, Maleki-Toyserkani S, Akram F, Rehman F, et al. Inorganic nitrate supplementation lowers blood pressure in humans: role for nitrite-derived NO. *Hypertension.* 2010;56(2):274–81.
52. Ghosh SM, Kapil V, Fuentes-Calvo I, Bubb KJ, Pearl V, Milsom AB, et al. Enhanced vasodilator activity of nitrite in hypertension: critical role for erythrocytic xanthine oxidoreductase and translational potential. *Hypertension.* 2013;61(5):1091–102.
53. Organization WH. WHO. Set of recommendations on the marketing of foods and non-alcoholic beverages to children. Geneva. 2010;1–16.
54. Organization WH. Global action plan on physical activity 2018-2030: more active people for a healthier world. World Health Organization; 2019.
55. Tremblay MS, Aubert S, Barnes JD, Saunders TJ, Carson V, Latimer-Cheung AE, et al. Sedentary Behavior Research Network (SBRN) – Terminology Consensus Project process and outcome. *Int J Behav Nutr Phys Act* [Internet]. 2017;14(1):75. Available from: <https://doi.org/10.1186/s12966-017-0525-8>
56. Owen N, Healy GN, Matthews CE, Dunstan DW. Too Much Sitting: The Population Health Science of Sedentary Behavior. *Exerc Sport Sci Rev* [Internet]. 2010;38(3). Available from: [https://journals.lww.com/acsm-essr/Fulltext/2010/07000/Too\\_Much\\_Sitting\\_\\_The\\_Population\\_Health\\_Science\\_of.3.aspx](https://journals.lww.com/acsm-essr/Fulltext/2010/07000/Too_Much_Sitting__The_Population_Health_Science_of.3.aspx)
57. Jeukendrup AE. Periodized Nutrition for Athletes. *Sports Med* [Internet]. 2017

- Mar;47(Suppl 1):51–63. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28332115>
58. Shearman M. Athletics and football. Longmans, Green; 1894.
  59. Close GL, Hamilton DL, Philp A, Burke LM, Morton JP. New strategies in sport nutrition to increase exercise performance. *Free Radic Biol Med* [Internet]. 2016;98:144–58. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0891584916000307>
  60. McMahon NF, Leveritt MD, Pavey TG. The Effect of Dietary Nitrate Supplementation on Endurance Exercise Performance in Healthy Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sport Med*. 2017;47(4):735–56.
  61. Thein LA, Thein JM, Landry GL. Ergogenic Aids. *Phys Ther* [Internet]. 1995 May 1;75(5):426–39. Available from: <https://doi.org/10.1093/ptj/75.5.426>
  62. Mediplan Sport. Diputaci??n Foral., Departamento de Cultura y Euskera., ??laba (Pa??s Basc : Prov??ncia). La Suplementacion con creatina como ayuda ergogenica para el rendimiento deportivo. Vitoria-Gasteiz: Diputaci??n Foral de ??lava. Departamento de Cultura y Euskera; 1996.
  63. Williams M. Sustancias ergog?nicas y ergol?ticas. *Med y Cienc en el Deport y el Ejerc*. 1992;344–348.
  64. Mujika, I and SP. Creatine supplementation as an ergogenic aid for sports performance in highly trained athletes: a critical review. *Int J Sports Med*. 1997;18,7:491.
  65. Cuenca E, Jodra P, P?rez-L?pez A, Gonz?lez-Rodr?guez LG, Fernandes da Silva S, Veiga-Herreros P, et al. 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* [Internet]. 2018 Sep 4;10(9):1222. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30181436>
  66. Maughan RJ, Burke LM, Dvorak J, Larson-Meyer DE, Peeling P, Phillips SM, et al. IOC consensus statement: dietary supplements and the high-performance athlete. *Br J Sports Med* [Internet]. 2018/03/14. 2018 Apr;52(7):439–55. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29540367>
  67. Jones A. Research reveals new secret weapon for Le Tour. *sunday Times Univ* [Internet]. 2011; Available from: [http://www.exeter.ac.uk/news/re%5C%0Asearch/title\\_145007\\_en.htm](http://www.exeter.ac.uk/news/re%5C%0Asearch/title_145007_en.htm)
  68. Wylie LJ, Kelly J, Bailey SJ, Blackwell JR, Skiba PF, Winyard PG, et al. Beetroot juice and exercise: Pharmacodynamic and dose-response relationships. *J Appl Physiol*. 2013;115(3):325–36.
  69. Pardo LA, Zarazaga BC. Mo de remolacha: Suplemento natural para deportistas. *Med Natur*. 2013;7(2):116–8.

70. Thompson C, Wylie LJ, Fulford J, Kelly J, Black MI, McDonagh STJ, et al. Dietary nitrate improves sprint performance and cognitive function during prolonged intermittent exercise. *Eur J Appl Physiol* [Internet]. 2015;115(9):1825–34. Available from: <https://doi.org/10.1007/s00421-015-3166-0>
71. Wylie LJ, Mohr M, Krstrup P, Jackman SR, Ermidis G, Kelly J, et al. Dietary nitrate supplementation improves team sport-specific intense intermittent exercise performance. *Eur J Appl Physiol*. 2013;113:1673–84.
72. Larsen FJ, Weitzberg E, Lundberg JO, Ekblom B. Effects of dietary nitrate on oxygen cost during exercise. *Acta Physiol*. 2007;191(1):59–66.
73. DeMartino AW, Kim-Shapiro DB, Patel RP, Gladwin MT. Nitrite and nitrate chemical biology and signalling. *Br J Pharmacol* [Internet]. 2018/10/03. 2019 Jan;176(2):228–45. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30152056>
74. Husmann F, Bruhn S, Mittlmeier T, Zschorlich V, Behrens M. Dietary nitrate supplementation improves exercise tolerance by reducing muscle fatigue and perceptual responses. *Front Physiol*. 2019;10(APR):1–13.
75. Bahadoran Z, Mirmiran P, Kabir A, Azizi F, Ghasemi A. The Nitrate-Independent Blood Pressure-Lowering Effect of Beetroot Juice: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Adv Nutr* [Internet]. 2017 Nov 15;8(6):830–8. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29141968>
76. Jones AM. Dietary nitrate supplementation and exercise performance. *Sports Med* [Internet]. 2014 May;44 Suppl 1(Suppl 1):S35–45. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24791915>
77. Hoon MW, Jones AM, Johnson NA, Blackwell JR, Broad EM, Lundy B, et al. The effect of variable doses of inorganic nitrate-rich beetroot juice on simulated 2000-m rowing performance in trained athletes. *Int J Sports Physiol Perform*. 2014;9(4):615–20.
78. Gisbert Martí J, Mas Morales A, Prat Bosch M, Cid AV, Ferrari MR. El efecto del zumo de remolacha sobre la presión arterial y el ejercicio físico: revisión sistemática. *Rev Esp Nutr Comunitaria*. 2015;21(2):20–9.
79. Knowles RG, Moncada S. Nitric oxide as a signal in blood vessels. *Trends Biochem Sci* [Internet]. 1992;17(10):399–402. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/096800049290008W>
80. Kim S, Cheng T, He S, Thiessen PA, Li Q, Gindulyte A, et al. PubChem Protein, Gene, Pathway, and Taxonomy Data Collections: Bridging Biology and Chemistry through Target-Centric Views of PubChem Data. *J Mol Biol* [Internet]. 2022;434(11):167514. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022283622000882>

81. Morris Jr SM. Arginine: beyond protein. *Am J Clin Nutr* [Internet]. 2006 Feb 1;83(2):508S–512S. Available from: <https://doi.org/10.1093/ajcn/83.2.508S>
82. Barbul A. Arginine: Biochemistry, Physiology, and Therapeutic Implications. *J Parenter Enter Nutr*. 1986;10(2):227–38.
83. Moncada S, Palmer RMJ HE. Nitric oxide: physiology, pathophysiology, and pharmacology. *Pharmacol Rev*. 1991;43:109–42.
84. Rector TS, Bank AJ, Mullen KA, Tschumperlin LK, Sih R, Pillai K, et al. Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Study of Supplemental Oral L-Arginine in Patients With Heart Failure. *Circulation* [Internet]. 1996 Jun 15;93(12):2135–41. Available from: <https://doi.org/10.1161/01.CIR.93.12.2135>
85. Schaefer A, Geny B, Mettauier B, Piquard F, Doutreleau S, Lampert E, et al. L-arginine reduces exercise-induced increase in plasma lactate and ammonia. *Int J Sports Med* [Internet]. 2002;23(6):403–7. Available from: <http://www.mendeley.com/c/6678104961/p/122340771/piquard-2002-l-arginine-reduces-exercise-induced-increase-in-plasma-lactate-and-ammonia/>
86. Frandsen U, Lopez-Figueroa M, Hellsten Y. Localization of Nitric Oxide Synthase in Human Skeletal Muscle. *Biochem Biophys Res Commun* [Internet]. 1996;227(1):88–93. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0006291X96914722>
87. Alderton WK, Cooper CE, Knowles RG. Nitric oxide synthases: structure, function and inhibition. *Biochem J* [Internet]. 2001 Aug 1;357(Pt 3):593–615. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11463332>
88. Martínéz Agustino S de M. Arginina , óxido nítrico y función endotelial. *Ars Pharm*. 2004;45(4):303–17.
89. Walker BJB, Walker JB. Creatine: biosynthesis, regulation, and function. *Adv Enzym Relat Areas Mol Biol* [Internet]. 1979;50:177–242. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/386719/>
90. Carrillo P, Gilli MV. Los efectos que produce la creatina en la performance deportiva. *Invenio* [Internet]. 2011 Feb 28;14(26):101–15. Available from: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87717621008>
91. Geeves MA, Holmes KCBT-A in PC. The Molecular Mechanism of Muscle Contraction. In: *Fibrous Proteins: Muscle and Molecular Motors* [Internet]. Academic Press; 2005. p. 161–93. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0065323304710050>
92. Kuo IY, Ehrlich BE. Signaling in muscle contraction. *Cold Spring Harb Perspect Biol*. 2015;7(2).



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS



## MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA NUTRICIÓN.

### Voto Sinodal.

#### COMISIÓN ACADÉMICA DE LA MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA NUTRICIÓN PRESENTE

Toda vez que el trabajo de Tesis realizado por el (la) C. NORRY ELIZABETH MONROY ORTIZ, estudiante de la Maestría en Ciencias de la Nutrición, con número de matrícula 10036910, y que lleva por título “ESTUDIO DE LA SINERGI A DE LOS COMPUESTOS BIOACTIVOS Y NUTRICIONALES DEL BETABEL (*BETA VULGARIS*) EN LA SALUD Y LA ERGOGÉNIA EN LA ACTIVIDAD FÍSICA, MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN DE UN MAPA BIOLÓGICO” ha sido revisado a satisfacción me permito en mi carácter como miembro de la Comisión Revisora comunicar lo siguiente:

- I. La tesis se aprueba, dado que reúne los requisitos para ser presentada y defendida ante el examen correspondiente.

Sin otro particular, agradezco la atención que sirva prestar a la presente.

A t e n t a m e n t e

Dra. María Araceli Ortiz Rodríguez  
Sinodal

Firmo para lo que resulte conducente, en la ciudad de Cuernavaca Morelos, a los 09 días del mes de abril de 2023.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

### Sello electrónico

**MARIA ARACELI ORTIZ RODRIGUEZ | Fecha:2023-05-09 15:13:51 | Firmante**

U9B4KYkFuRmWqeeoy/rltmdzpm414++Y6DH4XOU7hPw/guP1VMwRtqvXwM4rXpwoXJUUsRa+VT6oR+h6N0stk11KRPjUHc7YoMRpLAbigimKpcnzcGjtcjLsDXgrXRk82BEHB1iSETLvgUdV+JhMUxJikCDivTfnYZLI6bv43M2viCtqLJ9mzpRHHMZUmrK11dws4PDvcFzzRFOz3DNy/oyYj92r8wbuatMvDxgHT+cJ3hoEFH4jxNS5IHMhK071Yf5LA7xs9oaLNauN0dV2tFnvMDtOYDYFSFnC4ZDCTnph5vivsxcTS3xQGEAqYRHCJkwqko+9mYk2+CcDObw==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[pacvjZUHM](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/0HnGax9962fVfVojx6NMTUueUmZLFCgT>





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

FACULTAD DE NUTRICIÓN



## MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA NUTRICIÓN.

### Voto Sinodal.

#### COMISIÓN ACADÉMICA DE LA MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA NUTRICIÓN PRESENTE

Toda vez que el trabajo de Tesis realizado por el (la) C. NORRY ELIZABETH MONROY ORTIZ, estudiante de la Maestría en Ciencias de la Nutrición, con número de matrícula 10036910, y que lleva por título “ESTUDIO DE LA SINERGIA DE LOS COMPUESTOS BIOACTIVOS Y NUTRICIONALES DEL BETABEL (*BETA VULGARIS*) EN LA SALUD Y LA ERGOGÉNIA EN LA ACTIVIDAD FÍSICA, MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN DE UN MAPA BIOLÓGICO” ha sido revisado a satisfacción me permito en mi carácter como miembro de la Comisión Revisora comunicar lo siguiente:

- I. La tesis se aprueba, dado que reúne los requisitos para ser presentada y defendida ante el examen correspondiente.

Sin otro particular, agradezco la atención que sirva prestar a la presente.

A t e n t a m e n t e

Dra. Ollín Celeste Martínez Ramírez  
Sinodal

Firmo para lo que resulte conducente, en la ciudad de Cuernavaca Morelos, a los 09 días del mes de abril de 2023.

Calle Iztaccihuatl Núm. 100 Col. Los Volcanes, Cuernavaca, Mor., C.P. 62350  
Tel. (777) 329 70 00, Ext. 7951 315 04 35 / [academicanutricion@uaem.mx](mailto:academicanutricion@uaem.mx)





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

### Sello electrónico

**OLLIN CELESTE MARTINEZ RAMIREZ** | Fecha:2023-05-09 13:53:46 | Firmante

fLROW7R+NWvYZ4bIbS+0PVsOh0FW9Uzw28D9KpQm4lg5qVTfMZrOILPPZfQquLB6cj3TA7730OmVC4k5hoegHQw3fEm/GDjN6xIPTPKhGwDk0ifLoGmynnORUQRQb+nNC24IMTstf2Uonj8lumdgtDF3H5OVwT2d7F7uaOZIWDFGSWOrqK47N5x1nPdNomGiPOj8FpwXDHBq/6crzTnQ985pwZLWOOJQgh7p2Hju5truSKhcrjY1BiCsJqSaypOu4w2Loxj1LPzUz4aU2tz71pTvR9WptlS8Qg27Z00RbqjLQ7a3FWPzlf59v7mdRnNyTXxd76jle7Sq7CDX6ATiXpQ==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



V9UiTs4vl

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/zyLcnQkT41q72ud62VYmba4BZ8DYV99T>







UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS



## MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA NUTRICIÓN.

### Voto Sinodal.

#### COMISIÓN ACADÉMICA DE LA MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA NUTRICIÓN PRESENTE

Toda vez que el trabajo de Tesis realizado por el (la) C. NORY ELIZABETH MONROY ORTIZ, estudiante de la Maestría en Ciencias de la Nutrición, con número de matrícula 10036910, y que lleva por título “ESTUDIO DE LA SINERGIA DE LOS COMPUESTOS BIOACTIVOS Y NUTRICIONALES DEL BETABEL (*BETA VULGARIS*) EN LA SALUD Y LA ERGOGÉNIA EN LA ACTIVIDAD FÍSICA, MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN DE UN MAPA BIOLÓGICO” ha sido revisado a satisfacción me permito en mi carácter como miembro de la Comisión Revisora comunicar lo siguiente:

- I. La tesis se aprueba, dado que reúne los requisitos para ser presentada y defendida ante el examen correspondiente.

Sin otro particular, agradezco la atención que sirva prestar a la presente.

A t e n t a m e n t e

Dra. María Alejandra Terrazas Meraz  
Sinodal

Firmo para lo que resulte conducente, en la ciudad de Cuernavaca Morelos, a los 09 días del mes de abril de 2023.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

### Sello electrónico

**MARIA ALEJANDRA TERRAZAS MERAZ | Fecha:2023-05-09 14:10:23 | Firmante**

VY9eIJAArk/hAQ1GFyKkvQMvI0OHg7Z48smt9qukdjCdzV7aWU4WnzxCK+Z5kUDMrT83aukNQ5hWSxupihTmUL8TRtn3guYsAaqsLKPCGdqCKcBY0e3kY7bQMA2BeksI9J2tFFs6s58XrE7CxcgLMDbpa4eeW8/E4Bk6bnR1ZWHm4oWO/srjZ3e4O1ux9lrvp31dKkk/gaZPHfJcL/GqLw5MDJ9+AuVRUSbyxqxfDWCjTztFwIOZBPguWdudqK/xa3ITN1I5IgJfITj6w5VdgcxD1Yee0BQ3HCm6d5sLmcbwPd7QVKAOUO3+LolrzX98q6sIRJN9SIh0lxj+EgHZ1AbA==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o  
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



**710DupCQP**

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/5CulkDW5lrCnXExMFsW3o6M6EChHGOil>







UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS



## MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA NUTRICIÓN.

### Voto Sinodal.

#### COMISIÓN ACADÉMICA DE LA MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA NUTRICIÓN PRESENTE

Toda vez que el trabajo de Tesis realizado por el (la) C. NORY ELIZABETH MONROY ORTIZ, estudiante de la Maestría en Ciencias de la Nutrición, con número de matrícula 10036910, y que lleva por título “ESTUDIO DE LA SINERGIA DE LOS COMPUESTOS BIOACTIVOS Y NUTRICIONALES DEL BETABEL (*BETA VULGARIS*) EN LA SALUD Y LA ERGOGÉNIA EN LA ACTIVIDAD FÍSICA, MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN DE UN MAPA BIOLÓGICO” ha sido revisado a satisfacción me permito en mi carácter como miembro de la Comisión Revisora comunicar lo siguiente:

- I. La tesis se aprueba, dado que reúne los requisitos para ser presentada y defendida ante el examen correspondiente.

Sin otro particular, agradezco la atención que sirva prestar a la presente.

A t e n t a m e n t e

Dra. Mayra Yaneth Antúnez Mojica  
Sinodal

Firmo para lo que resulte conducente, en la ciudad de Cuernavaca Morelos, a los 03 días del mes de abril de 2023.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

### Sello electrónico

MAYRA YANETH ANTUNEZ MOJICA | Fecha:2023-05-03 16:01:09 | Firmante

wEnR0MV5RS1ZpFihp7CViVVG5seJeQZTbvB5Eb2wdfzgV4zGVopRo1d7Migvg/2+Y3TD68kSzc+Zl/nQBLeCCwd8HygiKO3rGxUFy34zZzLpdo8Fdt/ZZov5RCrI33EXVeyOKp3E4AbuneOabNvHIN2Pp76LSz2hw8iulwMCjztaP7SfJsklecHs33Ac4TTYPYLkEV9h8kZNaTmWg3UKWhZq/hsMvZTlrBnX7VYNU1evqu9QzM6783wn/MbYLIVT51pAK2Uhh802yRmLbLW/0/92Ohy9EY2AERS7/1xAbioT9IFEJwsHdhJeA23LloAatlaAJedOUZ0h2z2a2I1iw==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[Jw7uekn4q](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/sI7h0EeVlytXImXn63buy4mez9InP9O>





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS



## MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA NUTRICIÓN.

### Voto Sinodal.

#### COMISIÓN ACADÉMICA DE LA MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA NUTRICIÓN PRESENTE

Toda vez que el trabajo de Tesis realizado por el (la) C. NORY ELIZABETH MONROY ORTIZ, estudiante de la Maestría en Ciencias de la Nutrición, con número de matrícula 10036910, y que lleva por título “ESTUDIO DE LA SINERGIA DE LOS COMPUESTOS BIOACTIVOS Y NUTRICIONALES DEL BETABEL (*BETA VULGARIS*) EN LA SALUD Y LA ERGOGÉNIA EN LA ACTIVIDAD FÍSICA, MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN DE UN MAPA BIOLÓGICO” ha sido revisado a satisfacción me permito en mi carácter como miembro de la Comisión Revisora comunicar lo siguiente:

- I. La tesis se aprueba, dado que reúne los requisitos para ser presentada y defendida ante el examen correspondiente.

Sin otro particular, agradezco la atención que sirva prestar a la presente.

A t e n t a m e n t e

Dra. América Ivette Barrera Molina  
Sinodal

Firmo para lo que resulte conducente, en la ciudad de Cuernavaca Morelos, a los 03 días del mes de abril de 2023.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

### Sello electrónico

AMERICA IVETTE BARRERA MOLINA | Fecha:2023-05-04 14:31:44 | Firmante

L603+X/CXQKV5Mx+irFLriH1LxAjXusxW6TK2sDY5GONbpxqcgfKMeBolzoKR6yWRiRm0hBQ9DYy2ThXlC0sDIMrjNo4qNOQXyHJUCIbCs5q3XPju9KZ0hjnkDOGg/HNp/EWE  
CpyT1VLmVtsnqXkEKA1CIC2du/DMGZsmKA3eBrK5Ci5lKw4E8RKocAVPx3bX04kLeK0U3ALwLTz+CsnSH1HzaokKOPBeqsYyDqDLBBNVxxLWaThz2d7vqeEmwvyqXCaHlyr  
ht2o/x41i+xs+J6QtC0kD6pBlrir+VqyynxihpxyJ8syTvBDQlaxcYSdeP162V+eqld7b3tjiVhw==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o  
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[tc9nLo875](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/puLG2mxtllb7dcDvCE39fvIxEOmij7MZ>

