

Universidad Internacional del Ecuador

Facultad de Ciencias Médicas, de la Salud y la Vida

Escuela de Nutriología

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Nutriólogo.

**“Efectividad de la suplementación con cetonas exógenas como ayuda ergogénica en deportes de resistencia. Revisión Bibliográfica, periodo enero - agosto 2022”.**

Bryan Alejandro Ortega Quimbita

Tutor: MPH. Washington David Guevara Castillo.

Quito, agosto 2022

## **Certificación de autoría**

Yo, Bryan Alejandro Ortega Quimbita declaro bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

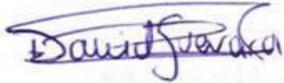
Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y leyes.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Bryan Ortega', with a stylized flourish at the end.

Bryan Ortega

### **Aprobación del tutor**

Yo, Washington David Guevara Castillo, certifico que conozco al autor del presente trabajo siendo el responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Washington David Guevara Castillo". The signature is stylized and somewhat cursive.

Director de Trabajo de Titulación,

MPH. Washington David Guevara Castillo.

## **Dedicatorias**

El presente trabajo investigativo no hubiese sido posible su finalización sin el apoyo desinteresado de todas las personas que citaré a continuación.

Lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y brindarme fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mis padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Es el orgullo más grande y privilegio el ser su hijo, son los mejores padres.

A mi hermana por estar siempre presente, acompañándome y por el apoyo moral que me brinda en todas las etapas de la vida.

A mi novia y amigos que con su apoyo han hecho que el trabajo se realice con éxito; en especial a aquellos que me abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

## **Agradecimientos**

Quisiera expresar mi gratitud a todas las autoridades y personal que hacen a la Universidad Internacional del Ecuador mi segundo hogar, por confiar en mí y por brindarme las herramientas para desarrollarme profesionalmente en esta maravillosa carrera.

De igual manera, mis agradecimientos a toda la Escuela de Nutriología, a mis profesores y tutores, que me ayudaron a crecer día a día como profesional, gracias por su paciencia con los trabajos, dedicación en sus presentaciones y apoyo en los temas difíciles.

Finalmente, quiero expresar mi gratitud a mi tutor, David Guevara, y a mis lectores, Dra. Julieta Robles, MSc. Karina Pazmiño y Dr. William Andrade; quienes a pesar de otras responsabilidades siempre estuvieron apoyando y brindándome conocimientos muy valiosos; les agradezco por todo en la finalización de la tesis.

## Índice de contenido

Certificación de autoría .....	ii
Aprobación del tutor .....	iii
Dedicatorias .....	iv
Agradecimientos.....	v
Índice de contenido .....	vi
Índice de tablas y figuras.....	viii
Lista de abreviatura y tablas de símbolos .....	ix
Resumen .....	10
Abstract .....	11
1. Introducción .....	12
1.1. Antecedentes .....	14
1.2. Planteamiento del problema.....	15
1.3. Justificación .....	16
2. Objetivos.....	19
2.1. Objetivo General.....	19
2.2. Objetivos Específicos .....	19
3. Marco teórico .....	20
3.1. Definiciones.....	20

3.1.1. Suplementación con Cetonas Exógenas y Metabolismo de Cetonas Endógenas.....	20
3.1.2. Ayudas Ergogénicas en Deportes de Resistencia .....	29
3.1.3. Efectos Adversos tras el Consumo de Cetonas Exógenas.....	33
4. Metodología.....	34
4.2. Criterios Para la Selección de los Estudios.....	34
4.2.1. <i>Criterios de Inclusión:</i> .....	34
4.2.2. <i>Criterios de Exclusión:</i> .....	34
4.3. Búsqueda Bibliográfica.....	35
5. Resultados y análisis de la información.....	38
6. Discusión .....	46
7. Conclusiones .....	50
8. Recomendaciones .....	51
9. Bibliografía.....	52
Anexos .....	58

## Índice de tablas y figuras

Figura 1. Interrelaciones de los Cuerpos Cetónicos.....	20
Figura 2. Vías de Cetogénesis en el Hígado.....	24
Figura 3. Formación de Acetoacetato a través de la Producción Intermedia de HMG-CoA.....	24
Figura 4. Rutas Metabólicas de Esteres de Cetonas antes de Entrar en el Ciclo de Ácido Cítrico.....	26
Figura 5. Utilización de los Cuerpos Cetónicos en Tejidos Extrahepáticos.....	27
Figura 6. Regulación de la Cetogénesis Tres Etapas Cruciales.....	27
Figura 7. Formación Utilización y Excreción de Cuerpos Cetónicos.....	28
Figura 8. Diagrama de Flujo para la Selección de Artículos de la Presente Revisión.....	37
Figura 9. Guía Para el Uso de Cetonas Exógenas en Deportes de Resistencia..	58
Tabla 1 Top Tres Deportes de Más Resistencia.....	30
Tabla 2 Clasificación de las Ayudas Ergogénicas y sus Ejemplos.....	31
Tabla 3 Clasificación Simplificada de Suplementos de la AIS.....	32
Tabla 4. Matriz de las Características y Hallazgos Principales de los Estudios Incluidos en la Revisión.....	41

## Lista de abreviatura y tablas de símbolos

**Ac:** acetona.

**AcAc:** acetoacetato.

**AE:** ayudas ergogénicas.

**AGL:** ácidos grasos libres.

**AIS:** Australian Institute of Sports.

**BHB:** betahidroxibutirato.

**CE:** cetonas exógenas.

**CHO:** carbohidratos.

**CoA:** coenzima A.

**DM2:** diabetes mellitus tipo 2.

**GI:** gastrointestinal

**H:** hombres.

**IMT180:** prueba de ciclismo submaximal de 180min (intermitent 180).

**kg:** Kilogramo

**M:** mujeres.

**mg:** miligramo.

**min:** minutos.

**mmol/L:** milimoles por litro.

**PC:** pruebas cronometradas.

**R-BHB:** otra forma de BHB.

**S-BHB:** antecesor de R-BHB.

**TCM:** triacilgliceroles de cadena media

**VO<sub>2</sub>:** absorción de oxígeno.

**VO<sub>2</sub>máx:** consumo máximo de oxígeno.

## Resumen

**Introducción:** la cetosis, alcanzada por la dieta o por la ingesta externa de suplementos, ha sido producto de estudio y utilización por atletas en deportes de resistencia. Los beneficios que justifican el uso de cetonas exógenas (CE) son la utilización de otra fuente de energía para ejercicios de larga duración, la reducción de lactato en sangre y el aumento de respuesta cognitiva. **Objetivos:** se comprobó, mediante la literatura existente y los ensayos clínicos, la eficacia de la suplementación con CE como ayuda ergogénica en los deportes de resistencia. Además, se describieron los mecanismos de acción que tienen estas sustancias en la fisiología de dichos deportes; así como, se detallaron los efectos adversos de su consumo. Adicionalmente, se elaboró una guía de suplementación de las CE con el respaldo de la literatura existente. **Metodología:** se utilizaron tres motores de búsqueda para la recopilación de datos: PubMed, Science Direct y Google Scholar. Se aplicaron los criterios de inclusión y exclusión y se recopilaron 10 ensayos clínicos que utilizaron CE como suplemento predominante. **Resultados:** la utilización de CE sí eleva las concentraciones de 3-Betahidroxibutirato (BHB) en sangre y genera un estado de cetosis. Sin embargo, la utilización de estos como sustrato de energía alterno durante la actividad no marca beneficio. Además, se conocieron efectos adversos como malestares gastrointestinales, mareos e euforia en ciertos casos. **Conclusiones:** las CE en los deportes de resistencia no demuestran un efecto ergogénico y suponen un posible deterioro para actividades de alta intensidad. **Recomendaciones:** realizar investigaciones para otros posibles usos con las CE como la recuperación después de la actividad.

**Palabras clave:** cetonas exógenas, ayudas ergogénicas, deportes de resistencia, suplementación deportiva.

## **Abstract**

**Introduction:** ketosis in the body, achieved by diet or external intake of supplements, has been the product of study and use by athletes in endurance sports. The benefits that justified the use of exogenous ketones (EK) are the use of another energy source for long-term exercises, the reduction of lactate concentrations in the blood and the increase in cognitive response after long periods of exercise. **Objectives:** verify, through the existing literature and clinical trials, the efficacy of EK supplementation as an ergogenic aid in endurance sports. In addition, the mechanisms of action that these substances have in the physiology of these sports were described; as well as the adverse effects of EK consumption were detailed. Additionally, an EK supplementation guide was developed with the current support of the existing literature. **Methodology:** three search engines were used for data collection: PubMed, Science Direct and Google Scholar. The inclusion and exclusion criteria were applied and 10 clinical trials that used EK as the predominant supplement were collected. **Results:** the use of EK does raise the concentrations of 3-betahydroxybutyrate (BHB) in blood and generates a state of ketosis. However, the use of EK as an alternate energy substrate during the activity does not show any benefit. In addition, adverse effects such as gastrointestinal discomfort, dizziness and euphoria were known in certain cases. **Conclusions:** EK in endurance sports do not show an ergogenic effect and represent a possible deterioration for high-intensity activities. **Recommendations:** further research is necessary for possible uses with EK such as improve recovery after longer activities.

**Key words:** exogenous ketones, ergogenic aids, endurance sports, sport supplementation.

## 1. Introducción

La alimentación, la hidratación y la calidad de las nuevas técnicas ergogénicas que se emplean en el deportista influyen directamente en el rendimiento y la salud del deportista (Gil de Antuñano, y otros, 2019). Debido a que, los entrenamientos son extensos y exhaustivos, los atletas buscan estrategias o sustancias para sobrellevar el desgaste generado y así desempeñar mejor en los deportes correspondientes (Santesteban Moriones & Ibañez Santos, 2017). Así, el número de nuevos suplementos alimenticios para los deportes de resistencia ha incrementado en las últimas décadas (Sánchez Oliver, Miranda León, & Guerra Hernandez, 2008). Por ejemplo, se tienen nuevas bebidas energizantes alegando beneficios milagrosos, novedosos ingredientes como la cúrcuma, barras energéticas específicas para deportes, bebidas de sales, proteínas, entre otros. De tal forma, estos ejemplos de productos han sido el foco de atención para ser utilizadas como nuevas técnicas en los deportes de resistencia (Olivos, Cuevas, Álvarez, & Jorquera, 2012).

Los efectos de la cetosis han sido investigados en diferentes campos de la salud, uno de ellos ha sido su influencia en los deportes de resistencia (Pinckaers, Churchward-Venne, Bailey, & van Looc, 2016). Por tanto, los atletas han buscado formas de alcanzar este estado, con la esperanza de aprovechar los beneficios que se atribuyen: como utilización de grasa como sustrato de energía, resistencia láctica, entre otros (Cox, y otros, 2016). Asimismo, para alcanzar el estado de cetosis se han encontrado dos principales vías: mediante largas dietas con restricciones de CHO o mediante el consumo de cetonas exógenas (Shahril Mansor & Hubert Woo, 2021). Sin embargo, las cetonas exógenas han ganado popularidad en el ciclismo cronometrado por el grupo británico SKY que demostró una ventaja

sobre sus competidores en el 2016 (Shaw, et al., 2019)(Witts, 2020). Además, a su rápida utilización y generación del estado de cetosis en las dosis adecuadas (Cox, y otros, 2016). En consecuencia, se han realizado varios estudios simulando los escenarios en los que las CE puedan generar un beneficio, y se pueda considerar su uso como ayuda ergogénica (Pinckaers, Churchward-Venne, Bailey, & van Looc, 2016).

La motivación de este trabajo radica en brindar una información clara, entendible y accesible a los profesionales de la salud responsables de la estrategia de suplementos que consumen los deportistas. Por tal motivo, se eligieron los parámetros más competentes para la evaluación de la evidencia científica que se detallan a continuación: fecha de realización del ensayo, tipo y administración de las CE, resultados de los ensayos y las conclusiones de los autores. Concretamente, se eligieron esos parámetros para tener la evidencia científica más actualizada, identificar las formas en las que se puede administrar e identificar el dosaje seguro, determinar si los resultados favorables son mayores que los perjudiciales y tener en consideración la opinión de otros profesionales. Por consiguiente, se discutieron temas como el metabolismo de las cetonas cuando son exógenas y de las cetonas endógenas y los diferentes resultados que estas dos respuestas metabólicas generan en el cuerpo. También, se discutió de los beneficios que supone el consumo de este suplemento y de sus efectos adversos. Para concluir, se elaboró una guía para que los deportistas intrigados por las CE y con la ayuda de profesionales de la salud puedan experimentar de una forma más segura los efectos del suplemento.

## **1.1. Antecedentes**

Los primeros intentos para observar si existe variación sobre la utilización de sustratos de energía durante el ejercicio se observó en 1998 (Jeukendrup, Thielen, Wagenmakers, Brouns, & Saris, 1998). Donde, por primera vez en un experimento clínico relacionado al deporte y el rendimiento atlético se administró en siete ciclistas entrenados los triacilgliceroles de cadena media (TCM) (Jeukendrup, Thielen, Wagenmakers, Brouns, & Saris, 1998). Ya que, se quería corroborar si el cuerpo cambia de fuente de energía mientras se encontraba realizando ejercicio (Jeukendrup, Thielen, Wagenmakers, Brouns, & Saris, 1998). Sin embargo, a pesar de que los TCM son unas grasas más rápidas de digerir, el cuerpo no tuvo diferencia al utilizar las fuentes de CHO y TCM administradas (Jeukendrup, Thielen, Wagenmakers, Brouns, & Saris, 1998). También, se evidenció una pérdida de rendimiento por 17% a 18% causado probablemente por las molestias gastrointestinales generadas por los 85g de TCM ingeridos (Jeukendrup, Thielen, Wagenmakers, Brouns, & Saris, 1998). En suma, se observó que, al ingerir dicha cantidad de grasas de cadena media, no se alteró la ruta metabólica que el cuerpo utilizaría mientras se encuentra en ejercicio (Jeukendrup, Thielen, Wagenmakers, Brouns, & Saris, 1998).

Más de una década después (Cox, y otros, 2016) realizó un informe clínico que abarca la hipótesis de alterar la ruta metabólica durante el ejercicio al generar el estado de cetosis mediante vía nutricional (Cox, y otros, 2016). Ya que, dentro de la cetosis, la fuente de un carbón oxidable cambia, ya no de un CHO si no de un cuerpo cetónico (Murray, Granner, Mayes, & Rodwell, 1992). Asimismo, en ese informe se revisaron cinco estudios, con un total de 39 atletas de resistencia. De tal manera, este autor llegó a la conclusión que los efectos metabólicos encontrados

si son favorables por la utilización de CE debido a las concentraciones altas de cetonas en sangre (Cox, y otros, 2016). Por ejemplo, algunos de los beneficios que mencionaba son para la respiración, mejor energía oxidativa y para los deportes de resistencia (Cox, y otros, 2016). Por tanto, el estudio de (Cox, y otros, 2016) levantó varias interrogantes sobre el consumo de CE en los deportes de resistencia. Es así, que se empezaron a realizar distintas pruebas replicando ciertas condiciones en las que se puedan encontrar los atletas para corroborar y poder aprobar su consumo masivo (Egan & D'Agostino, 2016).

## **1.2. Planteamiento del problema**

Se encuentran bajo investigación diferentes maneras de incrementar el desempeño atlético para brindar las mejores alternativas de alimentos y estrategias nutricionales (Melo, Moreno, & Aguirre, 2012). Por tanto, en la constante búsqueda de optimizar los resultados deportivos se han ido descubriendo diferentes suplementos nutricionales que existen en el mercado y se ha demostrado científicamente que algunos de ellos son ayudas ergogénicas (Ahrendt, 2001). Por ejemplo, una de las sustancias más famosas y ocupadas por los deportistas es la cafeína, que aumenta la resistencia y ayuda al rendimiento en varios deportes como: eventos de alta intensidad y corta duración (1 a 5 min), de resistencia (>90min de ejercicios continuos), ultra resistencia (4 horas o más), alta intensidad (20 a 60min), entre otros (Onzari, 2014). En consecuencia, se han realizado varios estudios corroborando la efectividad de la cafeína para poder masificar su consumo y aprovechar todos los beneficios que esta sustancia provee al deportista.

Existen nuevas sustancias que están presentando estudios referentes a los deportes de resistencia, siendo una de estas las cetonas exógenas (Shahril Mansor & Hubert Woo, 2021). Estas, se han ido implementando como ayuda nutricional en

ciertos deportes de resistencia como en el ciclismo profesional (Witts, 2020). Así, se alega que en estos deportes de larga duración los cuerpos cetónicos son utilizados como fuente alterna de energía cuando se tiene un ayuno prolongado, restricción calórica o difícil acceso a carbohidratos (Cox, y otros, 2016)(Egan & D'Agostino, 2016). Como resultado, se evidenció en ese estudio que reduce la producción de lactato en el músculo al alternar la utilización de sustrato como energía, reduciendo así la fatiga del deportista; y consiguiente, la disminución de tiempo en pruebas cronometradas (Cox, y otros, 2016). Por último, ya que se han demostrado ciertos beneficios al consumir cetonas exógenas se está considerando si este suplemento cuenta con la suficiente evidencia científica para ser clasificado como ayuda ergogénica (AIS, 2021).

Por lo que levanta la interrogante:

¿El uso de CE ayuda a los deportistas de resistencia a obtener un beneficio ergogénico en función de la literatura existente?

### **1.3. Justificación**

Las ayudas ergogénicas (AE), término de procedencia griega “ergon” que significa trabajo; son sustancias, técnicas o aditamentos que ocupan los atletas para tener una ventaja en la competencia (Onzari, 2014). En consecuencia, para obtener una ayuda ergogénica nutricional, se ha visto que más de la mitad de las personas que atienden a un gimnasio en Latinoamérica consumen de 1 a 4 suplementos nutricionales con la finalidad de mejorar su rendimiento físico (Sánchez Oliver, Miranda León, & Guerra Hernandez, 2008). Ya que, los beneficios de las AE incluyen producción de energía, mejorar la utilización de esta,

recuperación del atleta, aumento de masa muscular, entre otras (Ahrendt , 2001) (Santesteban Moriones & Ibañez Santos, 2017).

La fatiga y el deterioro del rendimiento físico son situaciones que se presentan cuando se realiza actividad física y las reservas de glucógeno en los músculos son depletadas (Melo, Moreno, & Aguirre, 2012). Por eso, se están desarrollando nuevas estrategias nutricionales que favorecen el consumo de otras fuentes de energía, ahorrando así las reservas endógenas de carbohidratos (Cox, y otros, 2016). Por ejemplo, una de las estrategias nutricionales que se están implementando en ciclistas de alto rendimiento es la utilización de las cetonas exógenas (Witts, 2020)(Egan & D'Agostino, 2016). Debido a que, las cetonas son consideradas como sustratos alternos de energía y en su utilización se ha evidenciado reducción de tiempos en pruebas cronometradas de ciclismo junto con la disminución de la producción de ácido láctico (Cox, y otros, 2016). De esta manera, la suplementación con cetonas exógenas se encuentra en investigación al mostrar efectos beneficiosos en ciertos deportes de resistencia (Cox, y otros, 2016). En suma, el Instituto Australiano de Deportes (AIS siglas en inglés) determinó una clasificación de las AE según la evidencia científica que sustenta su eficacia para el desempeño atlético (AIS, 2021). Por tanto, las CE se encuentran actualmente en el grupo B, siendo aún consideradas candidatas para subir de categoría demostrando posibles beneficios en el cuerpo, metabolismo u otros (AIS, 2021). Sin embargo, son estudios que muestran resultados incongruentes que dejan al público a su propio criterio (Margolis & O'Fallon, 2019). Por lo que, la revisión de la evidencia científica hasta la fecha es necesaria para poder justificar el consumo de las cetonas exógenas como ayuda ergogénica (Shahril Mansor & Hubert Woo, 2021). Ya que, previamente se han hecho revisiones sistemáticas como las de

(Margolis & O'Fallon, 2019) en donde los resultados de los 10 estudios eran incongruentes sobre las CE y el desempeño atlético en general.

## **2. Objetivos**

### **2.1. Objetivo General**

- Determinar si la suplementación con cetonas exógenas es útil como ayuda ergogénica para los deportes de resistencia según la evidencia científica.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Describir los mecanismos de acción de las cetonas exógenas en los deportes de resistencia.
- Detallar los efectos adversos sobre el consumo de cetonas exógenas.
- Elaborar una guía de suplementación con las cetonas exógenas enfocados a los deportes de resistencia.

### 3. Marco teórico

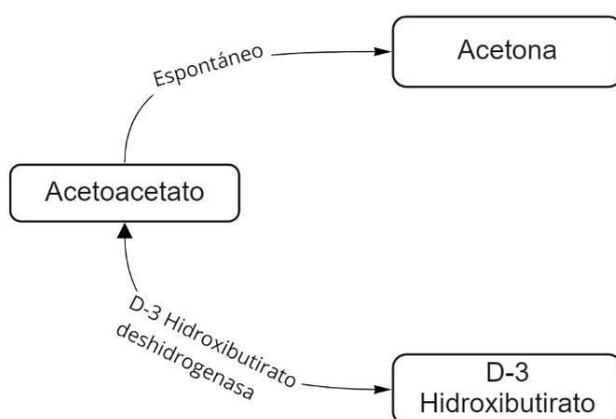
#### 3.1. Definiciones

##### 3.1.1. Suplementación con Cetonas Exógenas y Metabolismo de Cetonas Endógenas

La finalidad de utilizar las CE como suplementación es alcanzar el estado de cetosis sin acudir a la dieta cetogénica (Cox, y otros, 2016). Es decir, las CE inducen el proceso metabólico de cetogénesis resultando en la utilización de los cuerpos cetónicos como sustrato de energía (Murray, Granner, Mayes, & Rodwell, 1992). Normalmente, los cuerpos cetónicos son producidos endógenamente en la mitocondria, por el hígado y se conocen como acetoacetato (AcAc), D (-3)-hidroxibutirato (BHB) y acetona (Ac) (Fig. 1) (Dhillon & Gupta, 2022). Además, es incorrecto llamarlos a todos como “cetonas” ya que el BHB no es una cetona sino un ácido carboxílico, y existen otras cetonas como el piruvato y fructosa que no son cuerpos cetónicos (Murray, Granner, Mayes, & Rodwell, 1992).

**Figura 1.**

*Interrelaciones de los Cuerpos Cetónicos*



*Nota.* Adaptada de Interrelaciones de los cuerpos cetónicos. La D-3 Hidroxibutirato deshidrogenasa es una enzima mitocondrial (Murray, y otros, 2013).

Los valores normales de concentración de cuerpos cetónicos que presentan los mamíferos sin problemas digestivos y con alimento suficiente es de 0,2 mmol/L; y, la excreción normal en un hombre adulto es de 1mg en 24 horas (Murray, Granner, Mayes, & Rodwell, 1992). No obstante, cuando existen valores más altos de cuerpos cetónicos en sangre se denomina hipercetonemia; y, por orina constituye la cetonuria, denominando a la situación en general como cetosis (Murray, Granner, Mayes, & Rodwell, 1992). Dado que, los cuerpos cetónicos son unos ácidos medianamente fuertes, se necesita un agente estabilizador, como el amoniac, que mantenga el equilibrio ácido-base que necesitan los tejidos corpóreos (Murray, Granner, Mayes, & Rodwell, 1992). Puesto que, el cuerpo al metabolizar macronutrientes genera ácido, y para contrarrestarlo existen mecanismos como los amortiguadores químicos que pueden atrapar los hidrógenos positivos libres. Puesto que, son soluciones resistentes a los cambios de pH y responden de forma inmediata a los desbalances del estado ácido base. Además, tenemos la actividad pulmonar que regula el pH por la excreción del CO<sub>2</sub> y la actividad renal que ayuda a regular la cantidad de bicarbonato (BIC) que se excretan y los que se reabsorben manteniendo el buen funcionamiento corporal. De igual manera, el balance de nitrógeno que es determinado por el nitrógeno consumido y el nitrógeno en forma de urea excretado se ve afectada con la cetogénesis. Ya que, la excreción continua de los cuerpos cetónico también elimina el agente estabilizador; lo que genera una depleción de las reservas alcalinas, generando así una cetoacidosis que puede ser mortal en personas con Diabetes Mellitus Tipo I y II (DM1 y DM2) no controlado (Dhillon & Gupta, 2022).

En la cetonemia, la mayoría de las veces ocurre debido a un incremento de la producción de los cuerpos cetónicos y no por la falta de utilización por los tejidos

extrahepáticos (Murray, Granner, Mayes, & Rodwell, 1992). Por ejemplo, la cetoacidosis diabética que ocurre cuando no hay insulina o el paciente presenta una resistencia a la misma (Murray, Granner, Mayes, & Rodwell, 1992). Esta resistencia es explicada por el ciclo de Randle el cual indica que los productos de la oxidación de ácidos grasos inhiben la captación de glucosa (Hall & Guyton, 2021). Asimismo, debido a que la falta de glucosa acarreada por la insulina lleva a las células a intentar producir glucosa por medio de la gluconeogénesis (Murray, Granner, Mayes, & Rodwell, 1992). Este proceso, junto con la existencia de glucosa que no puede ser llevada por la insulina, eleva los niveles de glucosa en sangre (Murray, Granner, Mayes, & Rodwell, 1992). Y, debido a la hiperglucemia generada, con la deshidratación y la depresión de la conciencia podría desarrollarse un coma diabético (Hall & Guyton, 2021).

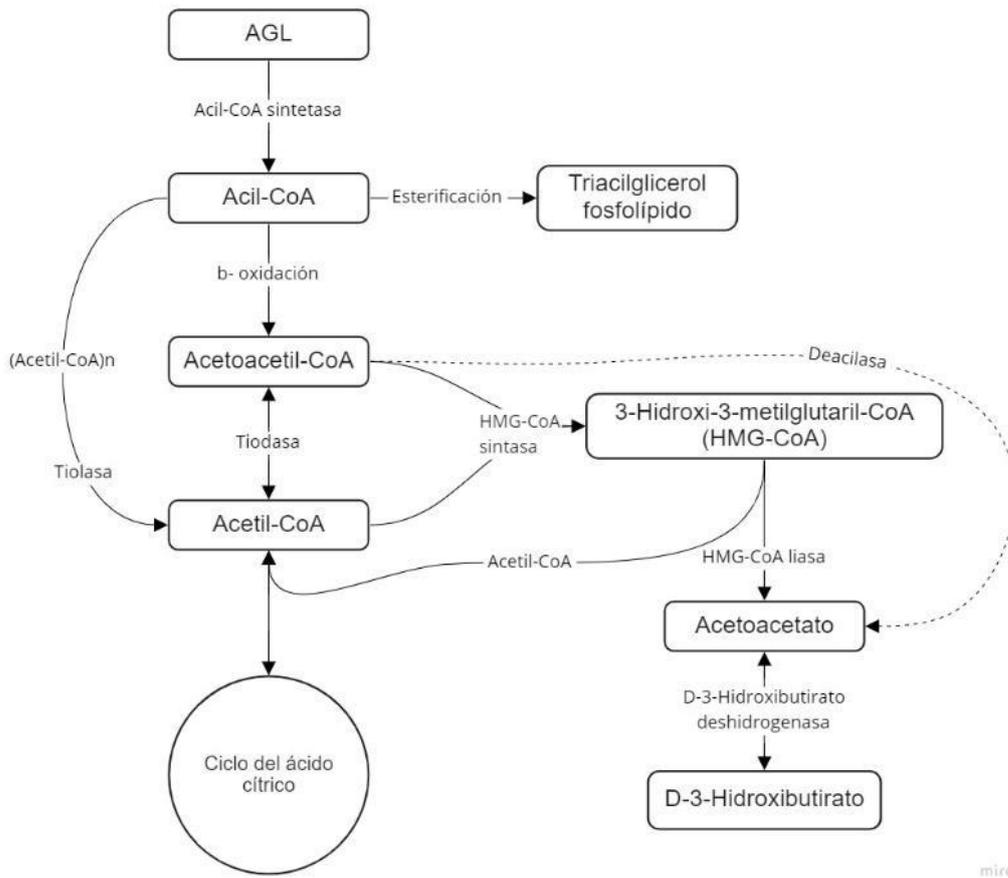
Sin embargo, el cuerpo no es capaz de utilizar esta glucosa, por lo que recurre a la cetogénesis y los cuerpos cetónicos como alternativas energéticas (Murray, Granner, Mayes, & Rodwell, 1992). A medida que, esto ocurre se incrementa la producción de los cuerpos cetónicos hasta que el cuerpo satura y, debido a la naturaleza ácida del BHB y el AcAc, se llega a una cetoacidosis (Cox & Clarke, 2014) (Murray, Granner, Mayes, & Rodwell, 1992) (Dhillon & Gupta, 2022). No obstante, el estado de cetosis puede ocurrir en periodos de ayuno, más la depleción de los CHO disponibles como energía, adicionando la utilización de AGL; y, mediante una dieta predominante en grasas y posterior a un ejercicio excesivo (Cox & Clarke, 2014) (Murray, Granner, Mayes, & Rodwell, 1992)

El proceso de crear cuerpos cetónicos se realiza dentro de las mitocondrias del hígado (Cox, y otros, 2016). Donde, se origina la acetoacetil-CoA precursor de los cuerpos cetónicos, mediante el curso normal de la beta-oxidación o como resultado

de la condensación del acil-CoA (Murray, Granner, Mayes, & Rodwell, 1992). A continuación, se crea el acetoacetato a partir del acetoacetyl-CoA mediante dos vías, desacilación (separar un grupo acilo del compuesto en cuestión) y la condensación del acetoacetyl-CoA con molécula acetyl-CoA (Fig. 2) (Murray, Granner, Mayes, & Rodwell, 1992). Sin embargo, se cree que la ruta de la condensación de acetoacetyl-CoA es la principal para la formación de cuerpos cetónicos (Murray, Granner, Mayes, & Rodwell, 1992). De manera que, la condensación del acetoacetyl-CoA con otra molécula de acetyl-CoA da como resultado 3-hidroxi-3-metilglutaril-CoA (HMG-CoA) mediante la enzima HMG-CoA sintasa (Murray, Granner, Mayes, & Rodwell, 1992). A partir de aquí, la HMG-CoA liasa hace que el acetyl-CoA se separe de la HMG-CoA dejando así al AcAc libre (Murray, Granner, Mayes, & Rodwell, 1992). Además, el acetyl-CoA liberado ingresa al ciclo del ácido cítrico condensándose con el oxalacetato para dar inicio ciclo del ácido cítrico (Murray, Granner, Mayes, & Rodwell, 1992). Por otro lado, el AcAc obtenido es convertido en BHB por la enzima BHB deshidrogenasa, que se encuentra en la mitocondria de varios tejidos (Fig. 3) (Murray, Granner, Mayes, & Rodwell, 1992). Por tanto, el BHB es el cuerpo cetónico predominante en la sangre y orina en casos de cetosis (Cox & Clarke, 2014) (Murray, Granner, Mayes, & Rodwell, 1992) (Dhillon & Gupta, 2022).

**Figura 2.**

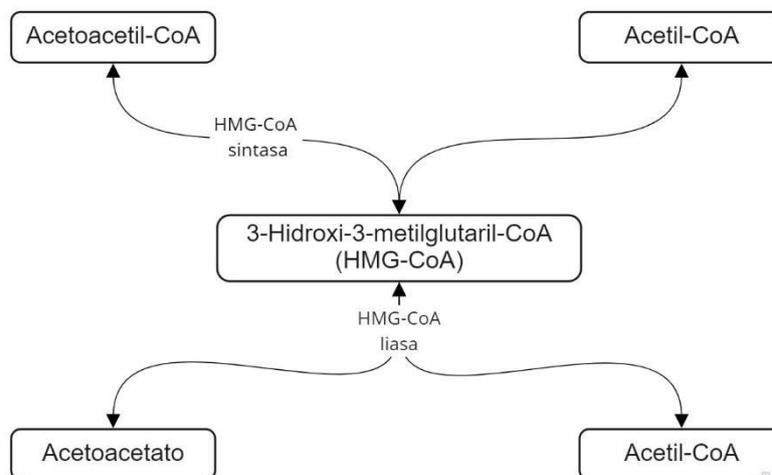
*Vías de Cetogénesis en el Hígado*



*Nota.* Adaptada de Vías de cetogénesis en el hígado. AGL, ácidos grasos libres; HMG, 3-hidroxi-3-metilglutaril (Murray, y otros, 2013).

**Figura 3.**

*Formación de Acetoacetato a través de la Producción Intermedia de HMG-CoA*

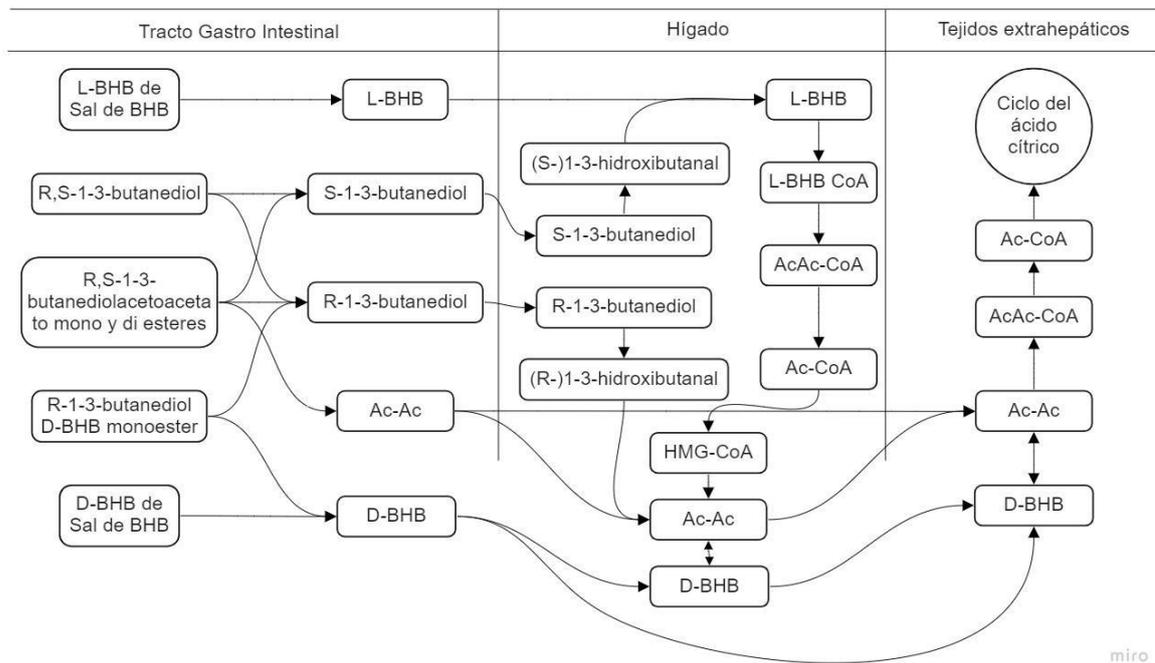


*Nota.* Adaptada de Formación de Acetoacetato a través de la Producción Intermedia de HMG-CoA de (Murray, y otros, 2013).

Las cetonas exógenas cuentan con múltiples vías para su metabolismo debido a su facilidad para intercambiar con sus isómeros; D- a L- (Fig 4.) (Shaw D. M., Merien, Braakhuis, Maunder, & Dulson, 2019). Por tanto, se evidencia, que el D-BHB que fue derivado del metabolismo del R, S-butanediol (BD) es similar al D-BHB que fue producido de forma endógena por la cetogénesis (Shaw D. M., Merien, Braakhuis, Maunder, & Dulson, 2019). Además, se encuentra el L-BHB que es un subproducto de del metabolismo de las grasas (Cox, y otros, 2016; Murray, Granner, Mayes, & Rodwell, 1992). Sin embargo, el L-BHB no entra en el ciclo del ácido cítrico, pero, es convertido a AGL y esteroides (Murray, Granner, Mayes, & Rodwell, 1992). Ya que, los esteroides debido a su base del ciclopentanoperhidrofenantreno son responsables de la creación de varios esteroides como el colesterol y hormonas como la progesterona, estrógeno y testosterona, o acetyl CoA antes de ser convertida a D-BHB (Shaw D. M., Merien, Braakhuis, Maunder, & Dulson, 2019). En suma, el L-BHB debido su lenta conversión y excreción permanece en sangre más de 24h y podría negar la supresión de glucosa por D-BHB (Shaw D. M., Merien, Braakhuis, Maunder, & Dulson, 2019).

**Figura 4.**

*Rutas Metabólicas de Esteres de Cetonas antes de Entrar en el Ciclo de Ácido Cítrico.*



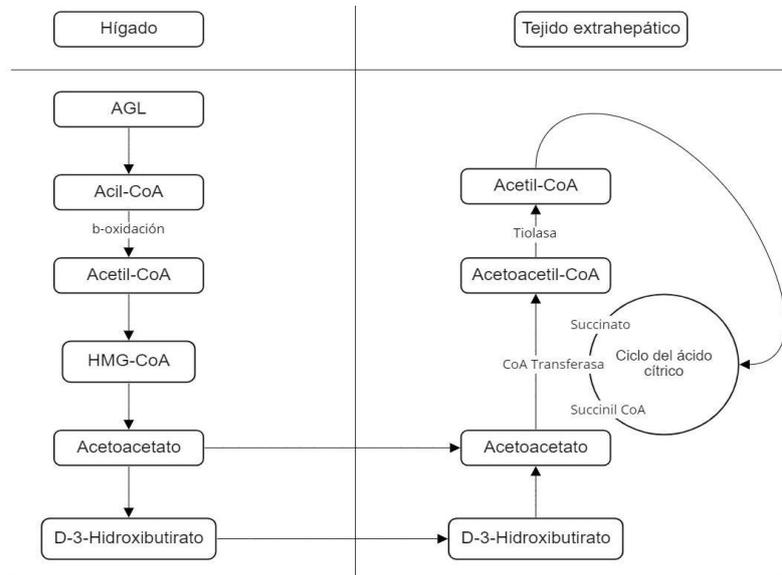
*Nota.* BHB, betahidroxibutirato; AcAc, acetoacetato; CoA, coenzima A; Ac-Ac-Coa, acetoacetyl CoA; Ac-CoA, acetyl CoA HMG-CoA 3-hidroxi-3-metilglutaril-CoA. Adaptada de A simplified schematic of the cleavage and major metabolic pathways of 1,3-butanediol-based ketone esters and ketone salts prior to oxidation in the tricarboxylic acid cycle within extrahepatic tissues de (Shaw D. M., Merien, Braakhuis, Maunder, & Dulson, 2019).

Los cuerpos cetónicos, a pesar de ser producidos en el hígado, no son utilizados por el mismo (Murray, Granner, Mayes, & Rodwell, 1992). Sin embargo, otros tejidos extrahepáticos si utilizan a estos cuerpos como fuente de energía (Fig. 4 y 5) (Murray, Granner, Mayes, & Rodwell, 1992). En primer lugar, una vía menos activa, es la del AcAc activado en el citosol que se utilizará como precursor de colesterol (Murray, Granner, Mayes, & Rodwell, 1992). En segundo lugar, la vía utilizada por los tejidos extrahepáticos es la conversión del AcAc en acetoacetyl-CoA por medio de la succinil-CoA-acetoacetato CoA transferasa (Murray, Granner, Mayes, & Rodwell, 1992). A partir de aquí, se añade una CoA por lo que el

acetoacetyl-CoA se divide en dos acetyl-CoA mediante la enzima tiolasa, y así, se oxida en el ciclo del ácido cítrico (Murray, Granner, Mayes, & Rodwell, 1992).

**Figura 5.**

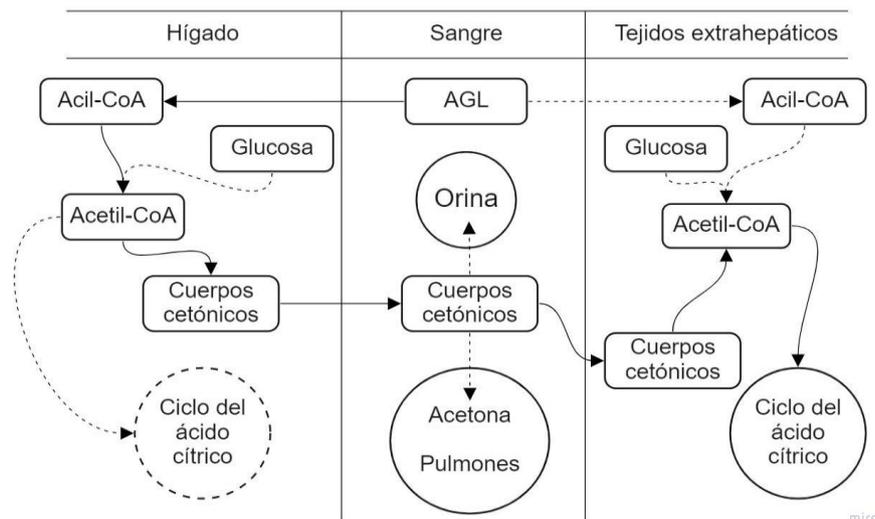
*Utilización de los Cuerpos Cetónicos en Tejidos Extrahepáticos*



*Nota.* Adaptada de Utilización de los cuerpos cetónicos en tejidos extrahepáticos. AGL, ácidos grasos libres; HMG, 3-hidroxi-3-metilglutaril de (Murray, Granner, Mayes, & Rodwell, 1992).

**Figura 6.**

*Formación Utilización y Excreción de Cuerpos Cetónicos.*

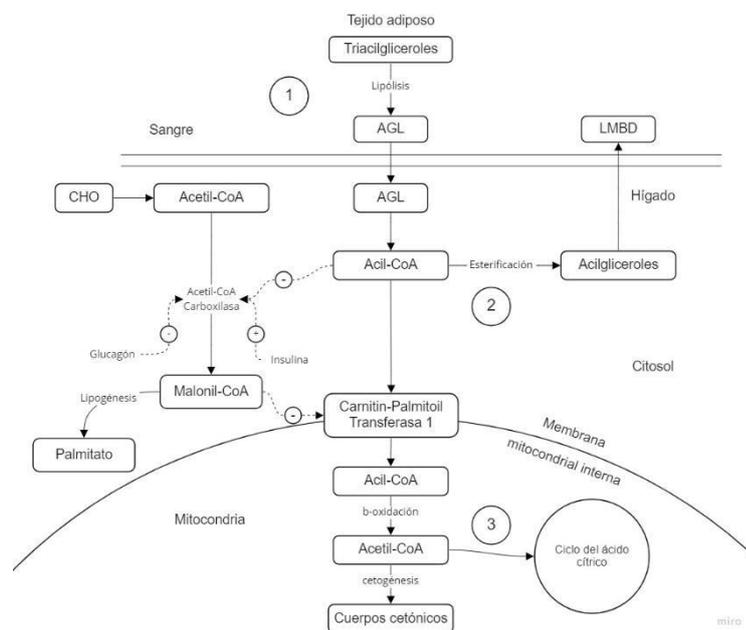


*Nota.* Adaptada de Formación utilización y excreción de cuerpos cetónicos. La vía principal está indicada por las flechas continuas de (Murray, y otros, 2013).

La cetogénesis está regulada por tres pasos críticos (Fig. 6) (Murray, Granner, Mayes, & Rodwell, 1992). En primer lugar, por el aumento de AGL circulantes provenientes de la lipólisis del triacilglicerol en el tejido adiposo (Murray, Granner, Mayes, & Rodwell, 1992). En segundo lugar, el aumento de los AGL por los estados de inanición donde el acil-CoA pasa con facilidad a beta-oxidación a través de la carnitina palmitoiltransferasa (CPT-1) que ya no se encuentra inhibida por el malonil CoA (Murray, Granner, Mayes, & Rodwell, 1992). Por último, un aumento de AGL séricos que causa proporcionalmente que más AGL se conviertan en cuerpos cetónicos al utilizar el acetil-CoA, preferentemente para la cetogénesis antes que para el ciclo del ácido cítrico (Cox & Clarke, 2014) (Murray, Granner, Mayes, & Rodwell, 1992) (Dhillon & Gupta, 2022).

**Figura 7.**

*Regulación de la Cetogénesis Tres Etapas Cruciales*



*Nota.* Adaptada de Regulación de la cetogénesis. Uno a tres etapas cruciales en la vía del metabolismo de los (AGL), ácidos grasos libres; HMG, 3-hidroxi-3-metilglutaril; CHO, carbohidratos de LMBD, lipoproteínas de muy baja densidad. Los efectos reguladores, positivo (+) y negativo (-) están representados por líneas entrecortadas y el flujo de substrato por líneas continuas (Murray, y otros, 2013).

### **3.1.2. Ayudas Ergogénicas en Deportes de Resistencia**

Los deportes de resistencia se caracterizan por utilizar grandes grupos musculares de una manera isotónica para realizar contracciones de forma repetitiva que podrían llegar a durar horas (Morici, y otros, 2016). Asimismo, este tipo de deportes exige que todos los procesos metabólicos, respiratorios y cardiovasculares desarrollen mayor funcionalidad en comparación a personas sedentarias (Morici, y otros, 2016). De esta manera, se puede proporcionar la energía requerida a estos grandes grupos de músculos que la transformarán en energía mecánica y así llevar a cabo la actividad que está siendo impuesta (Melo, Moreno, & Aguirre, 2012). Es así, como se logra desarrollar mayor capacidad cardíaca para poder movilizar la cantidad requerida de oxígeno a través del torrente sanguíneo en el tiempo requerido (Hall & Guyton, 2021). Así, extraer todos los residuos de los procesos metabólicos como el lactato y el dióxido de carbono, dando como resultado hipertrofia cardíaca (Hall & Guyton, 2021). Así pues, el cuerpo cuando se encuentra bajo estrés físico como el deporte de resistencia, busca la mejor manera de utilizar los sustratos de energía que tiene a su disposición según la intensidad y duración de la actividad, principalmente los carbohidratos y posterior las grasas (Olivos, Cuevas, Álvarez, & Jorquera, 2012) (Onzari, 2014). Por esto, el manejo adecuado de la nutrición previa, durante y después de la actividad es de vital importancia en todos los deportes de resistencia (Tabla 1) (Morici, y otros, 2016) (Onzari, 2014).

#### **Tabla 1**

Top Tres Deportes de Más Resistencia

<b>Deportes de resistencia</b>	<b>Breve descripción y duración promedio</b>
Ciclismo: distancia	Recorrer una distancia designada en un tiempo aproximado de entre 3 a 6 horas.
Atletismo: larga distancia	Existen varias pruebas desde los 5000m a 42km, pero oscilan de tiempo desde los 20min a 2 horas con atletas de alto nivel.
Natación (todas las modalidades): distancia	Existe las denominadas natación maratón, superiores a 10km en aguas abiertas, duran un promedio de 2 horas.

*Nota.* Adaptado de Endurance Sports Ranking (Wood, 2019) (Melo, Moreno, & Aguirre, 2012)

Las ayudas ergogénicas (AE) en los deportes se definen como sustancias o técnicas utilizadas para mejorar el desempeño atlético (Santesteban Moriones & Ibañez Santos, 2017). También, son todas las formas para aumentar la utilización de energía, incluyendo la producción de esta, el control y su rendimiento (Ahrendt , 2001) (Urdampilleta, Gómez-Zorita, & Martinez-Sanz, 2012). Asimismo, estas ayudas se clasifican como nutricionales, farmacológicas, fisiológicas, mecánicas o psicológicas (Tabla. 1) (Thein, Thein, & Landry, 1995). Además, estas ayudas para asegurarse de su veracidad son contrastados con varios estudios rigurosos, estudios de doble ciego, y los estudios no son patrocinados por empresas involucradas en su fabricación (Urdampilleta, Gómez-Zorita, & Martinez-Sanz, 2012). De tal manera, se encuentra la cafeína como uno de los suplementos más utilizados en el mundo del deporte por sus beneficios avalados en el rendimiento físico y cognitivo en los atletas de varias disciplinas (Olivos, Cuevas, Álvarez, & Jorquera, 2012) (Sánchez Oliver, Miranda León, & Guerra Hernandez, 2008). Además, dentro de las poco reconocidas está la utilización de multivitamínicos, rituales para manejar el estrés pre-competencia, visualización y soluciones con alta

carga de CHO para eventos de larga duración (Onzari, 2014). Sin embargo, estas AE siempre están bajo constante investigación ya que ciertos efectos secundarios no son conocidos y pueden contrarrestar los beneficios que presentaban (AIS, 2021).

**Tabla 2**

*Clasificación de las Ayudas Ergogénicas y sus Ejemplos*

<b>Ayudas ergogénicas</b>	<b>Ejemplos de ayudas</b>
Farmacológicas	Esteroides anabólicos, hormonas, estimulantes.
Fisiológicas	Aclimatación al calor, aclimatación al frío, aclimatación a la hipoxia, sauna para disminuir el peso y entrenamientos de altitud
Mecánicas	Cascos aerodinámicos para ciclistas, zapatos livianos para corredores, bañadores, plantillas, mallas de compresión, camel back, bidones, entre otros.
Nutricionales	Modificación de peso o composición corporal, manipulación alimentaria para mejorar el rendimiento, cómo: bebidas cargadas con CHO para eventos de larga duración; ingesta de altas dosis de nutrientes específicos o subproductos, cómo: cafeína y creatina.
Psicológicas	Hipnosis, psicoterapia, efecto del grito personal, escuchar música, preparación psicológica integral.

*Nota.* Adaptado de Ayudas ergogénicas mecánicas, psicológicas y fisiológicas (Urdampilleta, Gómez-Zorita, & Martínez-Sanz, 2012) (Onzari, 2014)

Dentro de los suplementos más conocidos la AIS ha desarrollado una clasificación de los suplementos alimenticios en base a su efectividad para mejorar el rendimiento físico, seguridad y sus permisos para programas de suplementación

(AIS, 2021). De tal manera, existen 4 grupos que describirán a continuación (Tabla 2): para empezar, tenemos al grupo A que tiene fuerte evidencia científica que avala su utilización de suplementos en actividades específicas según ciertos protocolos y su uso es permitido para atletas (AIS, 2021). En segundo lugar, tenemos al grupo B, que tiene evidencia en revisión y que merece apoyo para seguir su investigación, su uso es considerado bajo ciertos parámetros (AIS, 2021). A continuación, tenemos al grupo C que no tiene evidencia que apoye sus beneficios o que no exista evidencia suficiente para una opinión informada y que no se recomienda en programas de suplementos (AIS, 2021). Por último, tenemos al grupo D que son sustancias prohibidas o con alto riesgo de contaminación y ayudar a una prueba de dopaje positivo y que ningún atleta debe ocupar en su programa de suplementación (AIS, 2021).

**Tabla 3**

*Clasificación Simplificada de Suplementos de la AIS*

<b>Clasificación</b>	<b>Descripción del grupo</b>	<b>Ejemplos de este grupo</b>
Grupo A	Fuerte evidencia científica que avala su utilización de suplementos en actividades específicas según ciertos protocolos y su uso es permitido para atletas.	<b>Comida deportiva:</b> bebidas deportivas, geles deportivos, suplementos electrolíticos, aislados de proteína, barras con mezcla de macronutrientes. <b>Suplementos médicos:</b> hierro, calcio, vitamina D, multivitamínicos, probióticos, zinc. <b>Suplementos para rendimiento:</b> cafeína, b-alanina, bicarbonato, jugo de remolacha, creatina, glicerol.
Grupo B	Evidencia en revisión y que merece apoyo para seguir su investigación, su uso es considerado bajo ciertos parámetros	<b>Polifenoles de comida:</b> polifenoles de frutas. <b>Antioxidantes:</b> vitamina C, N-acetil cisteína. <b>Saborizantes:</b> menta, quinina. <b>Otros:</b>
Grupo C	No tiene evidencia que apoye sus beneficios o que no exista	Productos de la categoría A y B, utilizados en protocolos no aprobados, cómo: polifenoles de frutas.

Grupo D	evidencia suficiente para una opinión informada y que no se recomienda en programas de suplementos	<b>Productos de renombre:</b> magnesio, leucina, fosfato, prebióticos, vitamina E, tirosina.
	Sustancias prohibidas o con alto riesgo de contaminación y ayudar a una prueba de dopaje positivo y que ningún atleta debe ocupar en su programa de suplementación	<b>Estimulantes:</b> efedrina, sibutramina. <b>Prohormonas y potenciadores de hormonas:</b> androstenediona, potenciadores de testosterona. Liberadores de hormona de crecimiento y péptidos.

*Nota.* Este cuadro solo representa una fracción de lo descrito por la AIS para más información revisar el medio oficial. Adaptada de la The ABCD Classification System of the AUS Sports Supplement Framework: 2021 (AIS, 2021)

### 3.1.3. Efectos Adversos tras el Consumo de Cetonas Exógenas

Dentro de los ensayos clínicos se evidenciaron efectos adversos agudos tras el consumo de las CE. Por ejemplo, dentro de las molestias agudas se encuentran molestias GI, mareos, euforia, náusea, calambres, eructos, acidez, flatulencia y vómito. (Evans & Egan , 2018). Además, se debe tomar en cuenta que a largo plazo el consumo de cetonas podría causar hepatotoxicidad (Hall & Guyton, 2021) (Cox & Clarke, 2014). En definitiva, son malestares que hay que considerar para la recomendación e inclusión de estas sustancias en el programa de suplementación del deportistas (Evans & Egan , 2018).

## **4. Metodología**

### **4.1. Diseño de la Investigación**

El diseño de la presente investigación es de revisión bibliográfica de tipo descriptiva, según Vera (2009). Ya que, este tipo de investigaciones permiten revisar la información actual, en este caso sobre las cetonas exógenas como ayuda ergogénica, con la finalidad de brindar a los profesionales en salud las pautas necesarias para el consumo de estas sustancias.

### **4.2. Criterios Para la Selección de los Estudios**

#### **4.2.1. Criterios de Inclusión:**

- Estudios y ensayos clínicos realizados en humanos.
- Estudios donde se ocupe alguna forma de cetona exógena en una prueba física.
- Estudios aceptados desde el año 2012 hasta la fecha de este estudio agosto 2022.
- Estudios con una población sana y/o activas y/o deportistas amateurs y/o atletas de alto rendimiento de 14 años hasta los 59 años.
- Estudios en idioma inglés y español indiferente del continente donde se realizó.

#### **4.2.2. Criterios de Exclusión:**

- Estudios que no tengan algún acercamiento a la actividad física y/o deportes de resistencia.
- Estudios que no mencionen el uso de cetonas exógenas.
- Estudios publicados desde el 2011 y años previos.

- Estudios publicados en otros idiomas que no han sido mencionados previamente.
- Estudios con una población con una patología existente y/o se encuentre hospitalizado.

### **4.3. Búsqueda Bibliográfica**

El presente trabajo de revisión analiza ensayos clínicos y utiliza investigaciones, artículos científicos, revisiones sistemáticas y metaanálisis para la discusión; con la finalidad de sintetizar la información que existe sobre el consumo de cetonas exógenas. De modo que, la búsqueda ayude a evidenciar las características teóricas del material seleccionado y determinar una conclusión basada en la evidencia científica después del análisis (Merino-Trujillo, 2011). Asimismo, para la recopilación bibliográfica se utilizó principalmente los gestores de búsqueda de PubMed, Google Scholar y Science Direct.

#### **4.3.1. Proceso de Búsqueda**

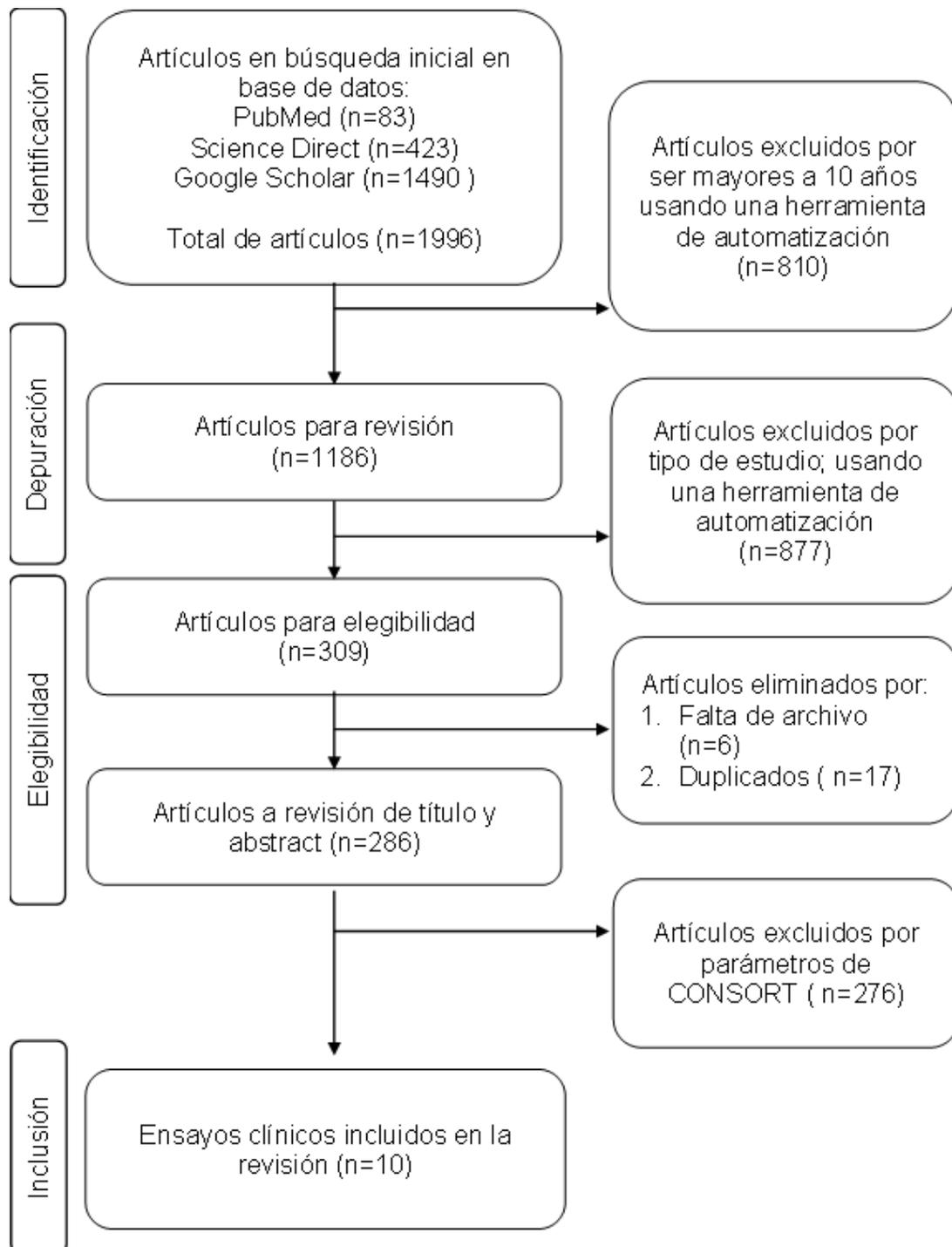
Las palabras y conjunto de palabras claves que se ocuparon en los motores de búsqueda fueron: “ketones, athletic performance” para obtener resultados más enfocados a los objetivos de este trabajo sin excluir trabajos que con otras técnicas de búsqueda se descartaban al ser muy específicos. Además, el proceso de búsqueda se realizó de manera separada en cada uno de los motores utilizados, aprovechando las herramientas disponibles que existían en la fecha de la búsqueda, enero – julio 2022. Por esto, En PubMed se utilizaron los términos MESH: (“Ketones” [Mesh]) AND “Athletic Performance” [Mesh], que al obtener los primeros resultados se aplicó el filtro de búsqueda por fecha que ayudó a eliminar los artículos mayores a 10 años de antigüedad. A continuación, se marcaron las

opciones: *clinical trial*, *meta-analysis*, *randomized controlled trial*, *review* y *systematic review* en el filtro de “Article type”, para que se muestre únicamente los que se seleccionaron. Posterior a eso, se obtuvieron 26 resultados que sus títulos fueron extraídos a una base de datos externa en Excel para una futura consideración. Sin embargo, en Science Direct y en Google Scholar se utilizaron los términos “ketones, athletic performance” ya que no contaba con el sistema Mesh.

En Science Direct, se aplicaron los términos descritos y los filtros disponibles, dando como resultado 91 artículos, los cuales sus títulos fueron extraídos a la base externa de Excel. Por otro lado, en Google Scholar, solo se pudieron aplicar 2 filtros, que la fecha no sea mayor a 10 años, y que el tipo de artículo sea únicamente artículos de revisión; dando como resultado 192 artículos que igualmente fueron extraídos los títulos a la base de datos de Excel. A continuación, en la base de datos se procedió a la lectura de los títulos, resumen y palabras claves para poder determinar su relevancia para el trabajo. Además, para ayudar en la búsqueda y descarte de artículos, se ocuparon las funciones de “Formato condicional” en Excel, donde se podía aplicar “reglas” para resaltar las celdas según el texto específico que uno ingresaba. De modo, que ayudaba de una forma visual a seleccionar los artículos que eran más relevantes para la investigación. Por último, se puede evidenciar en la Figura 8. el flujograma utilizado para la selección de artículos de la presente revisión que nos ayudará a resolver la pregunta: ¿El uso de CE ayuda a los deportistas de resistencia a obtener un beneficio ergogénico comparados con las técnicas nutricionales tradicionales?

**Figura 8.**

*Diagrama de Flujo para la Selección de Artículos de la Presente Revisión*



## 5. Resultados y análisis de la información

La información encontrada en los 10 artículos se detalló en una tabla donde se extrajo: fuente del artículo, autor principal, año de publicación, país, diseño de estudio, descripción de la población estudiada, el tipo de ejercicio/prueba realizada, tiempo del estudio, forma de administración de las CE y sus respectivos resultados. Como se puede evidenciar en la Tabla 3, matriz de las características y hallazgos principales de los estudios incluidos en la revisión. Asimismo, se encontró una población de 8 hasta 32 individuos en los artículos seleccionados. Así pues, las características de la población varían desde personas activas y no activas, ciclistas entrenados, corredores, atletas de equipo y adultos universitarios entrenados.

Los efectos de las CE se pusieron a prueba bajo diferentes actividades físicas, cómo: pruebas cronometradas (PC), pruebas que simulan situaciones de deportes como el Loughborough Intermittent Shuttle, pruebas de máximo esfuerzo y capacidad anaeróbica como la Wingate y *Sprints*, e incluso pruebas cognitivas físicas como FitLight. Además, la mayoría de los estudios contaban con protocolos similares en el siguiente orden: un estado de ayuno o ligera comida previa a la actividad, ingesta del suplemento, calentamiento, realización de la prueba indicada, constante monitorización de BHB y encuesta de la experiencia durante y después de la sesión. En suma, todos los protocolos tenían la finalidad de simular las condiciones más parecidas a las que los atletas de resistencia encaran en su deporte en las diferentes etapas de su realización.

Los estudios no sustentan la idea de que las CE otorgue una ayuda ergogénica a los deportes de resistencia. Ya que, se ha visto que el uso de esta deteriora o no genera algún beneficio ergogénico por su propio mérito (Evans, McSwiney, Brady, & Egan, 2019) (O'Malley, Myette-Cote, Durrer, & Little, 2017) (Waldman, et al.,

2018). Es por esto, que ciertos autores desaprueban el uso como técnica nutricional en los deportes que sean menores a una hora (Poffé, Wyns, Ramaekers, & Hespel, 2020). Además, al no generar ningún beneficio o diferencia en ciertos parámetros, hasta el momento el uso de las CE como ayuda ergogénica durante los deportes de resistencia queda descartado (Evans, McSwiney, Brady, & Egan, 2019) (Scott, et al., 2019) (Jo, y otros, 2020) (Waldman, et al., 2018). Ya que, siendo un artículo con más evidencia al contar con mayor número de participantes en el estudio de (Jo, y otros, 2020) no se encontraron beneficios ergogénicos, pero sí se menciona el posible uso para la recuperación entre sesiones largas de entrenamiento.

En los ensayos clínicos seleccionados para la revisión se describen varios protocolos de administración de las CE para generar el estado de cetosis. Por ejemplo, la variación o correlación que existe al administrar las CE junto con otros ingredientes (Evans, McSwiney, Brady, & Egan, 2019) (Jo, y otros, 2020) (Kackley, et al., 2020). No obstante, los resultados de las CE se vieron opacados por la intervención ya comprobada de ciertos ingredientes, cómo: la cafeína en brindar más potencia en los atletas, el bicarbonato al atenuar los niveles de lactato en sangre (Kackley, et al., 2020) (Poffé, Ramaekers, Bogaerts, & Hespel, 2020). Por otro lado, existen estudios que administraban dosis muy bajas en comparación a los demás (Jo, y otros, 2020) (Kackley, et al., 2020) (Waldman, et al., 2018). Sin embargo, algunas de esas dosis administradas sí elevaron los BHB en sangre, pero por un corto periodo de tiempo sin generar una cetosis terapéutica. Por esto, los resultados quedaron inconclusos por no llegar a una media de BHB en sangre que lo había estipulado (Cox, y otros, 2016) los resultados no fueron favorables para las CE. En suma, la elevación y mantenimiento del BHB en sangre depende directamente de dosis entre 573mg a 750mg por kilogramo de peso de sales con

BHB para intentar algún efecto terapéutico (Scott, et al., 2019) (Poffé, Ramaekers, Bogaerts, & Hespel, 2020).

Dentro de los experimentos se evidenciaron efectos adversos agudos tras el consumo de las CE. Por ejemplo, dentro de las molestias agudas se encuentran molestias GI, mareos, euforia, náusea, calambres, eructos, acidez, flatulencia y vómito. (Evans & Egan , 2018). Además, se debe tomar en cuenta que a largo plazo el consumo de cetonas podría causar hepatotoxicidad (Hall & Guyton, 2021) (Cox & Clarke, 2014). En definitiva, son malestares que hay que considerar para los deportes de resistencia de alta intensidad como el fútbol, boxeo o natación (Evans & Egan , 2018).

Tomando en consideración la información obtenida de los estudios, se realizó una guía de suplementación de CE que la pueden revisar en el Anexo 1. Dónde, se resume el mecanismo de acción de las CE y en qué deportes serían más relevantes su consumo. Además, se detallan los posibles efectos adversos agudos y el protocolo a seguir para evitar mayores complicaciones de salud al querer hacerlo de una forma más empírica. Al final, en los pasos a seguir del protocolo, se adjunta una parte de veredicto donde se instruye ser muy reflexivos de los parámetros a seguir antes de recetar el suplemento a cualquier deportista.

**Tabla 4.**

*Matriz de las Características y Hallazgos Principales de los Estudios Incluidos en la Revisión*

Autor, año y diseño de estudio	Descripción de la población y tamaño de muestra	Suplemento de cetona	de Protocolo de rendimiento	de	Resultados del experimento	Conclusiones sobre ayuda ergogénica
<p>(Kackley, et al., 2020)</p> <p>Diseño cruzado bidireccional.</p> <p>USA.</p>	<p>Adultos activos de 18 a 50 años Keto adaptados y No keto adaptados.</p> <p>n=24 (H17, M7)</p>	<p>7.2g de BHB (72% R-BHB 28% S-BHB)</p> <p>100 mg de cafeína y aminoácidos (leucina y taurina) en 473ml líquido.</p>	<p>Suplemento administrado 15min antes de actividad.</p> <p>Experimento en bicicleta estática.</p> <p>Time to Exhaustion (TTE) 30min.</p> <p>Wingate test de 30sec.</p>		<p>Mayor rendimiento de alta intensidad en un 9%. Aumentos plasmáticos rápidos, sostenidos y aclaramiento de R-BHB y S-BHB</p> <p>El suplemento fue bien tolerado. Respuestas metabólicas alteradas al ejercicio por el aumento del pico de lactato y disminución de las respuestas de glicerol (solo Keto-Naïve).</p>	<p>El efecto demostrado sustenta el beneficio ergogénico de la mezcla de varios ingredientes entre ellos las CE en personas con antecedentes cetogénicos y no cetogénicos.</p>
<p>(Poffé, Ramaekers, Bogaerts, &amp; Hespel, 2020)</p> <p>Diseño doble ciego cruzado.</p> <p>Bélgica.</p>	<p>Ciclistas varones entrenados de 29+/-5 años.</p> <p>n = 9</p>	<p>65g de BHB (R-3-hydroxybutyl R-3-hydroxybutyrate y/o 922mg*kg) y/o 300mg*kg de BIC. Rangos de CE considerados 790-1087mg*kg</p>	<p>3 tomas 60min antes de 20 min antes de TT180 y 30 min dentro de TT180 total.</p> <p>Dos simulaciones de carrera separadas por una semana.</p> <p>(IMT180, TT15min y Sprint al 175%</p>		<p>Consumo de CE elevó BHB a 2-3mM en sangre durante 2h de la carrera (p&lt; 0.001).</p> <p>El bicarbonato añadido elevó las concentraciones de BHB en sangre en 0,5-0,8 mM más que CE durante la primera mitad de IMT180 (P&lt;0.001).</p> <p>Fuerza en el TT15 fue 5% más elevado con CE+BIC que los otros suplementos. (p&lt;0,02).</p>	<p>La coingestión de bicarbonato de sodio más cetonas exógenas mejora el rendimiento de alta intensidad en el final de los ejercicios de resistencia sin causar malestares gastrointestinales.</p>

<p>(Poffé, Wyns, Ramaekers, &amp; Hespel, 2020)</p> <p>Diseño doble ciego cruzado.</p> <p>Bélgica.</p>	<p>Ciclistas varones entrenados de 26 +/- 6 años</p> <p>n = 14</p>	<p>50g de BHB (R-3-hidroxi-butill R-3-hidroxi-butirato) y/o 180mg*kg de BIC</p> <p>(25g a los 30min y 25g a los 55min de la prueba).</p> <p>Rangos de CE: BHB 726+/-75mg*kg peso.</p>	<p>Dos sesiones en 14 días</p> <p>190min de prueba en bicicleta estática.</p> <p>Calentamiento de 60min, seguido de TT 30min y un Sprint 175%.</p>	<p>Ingestión de CE elevó el D-BHB en sangre a 3–4 mM durante la TT30 y el Sprint.</p> <p>En CE, pH sanguíneo y el BIC disminuyeron en 0,05 al pH y BIC 2.6 mM en comparación con grupo control durante el TT30min y Sprint.</p> <p>La coingestión de BIC resultó en un aumento de D-BHB en sangre y cetosis completamente contrarrestada durante el ejercicio. La producción de potencia media durante TT30' fue similar entre CON y BI, pero en CE fue un 1,5 % más bajo.</p> <p>El tiempo hasta el agotamiento en el SPRINT fue de +/-64 s en CON y CE y aumentó +/-8% en las condiciones BIC.</p>	<p>La cetosis exógena perjudica ligeramente el rendimiento físico, independientemente de la cetosis prevenida por el BIC.</p> <p>Los autores no recomiendan a la cetosis exógena aguda como una estrategia nutricional para los ejercicios cortos de alta intensidad de resistencia menores a 1h.</p>
<p>(Evans &amp; Egan , 2018)</p> <p>Diseño doble ciego aleatorio cruzado.</p> <p>Irlanda.</p>	<p>Atletas varones de un equipo de 25.4 +/- 4.6 años.</p> <p>n = 11</p>	<p>750mg*kg de ester de cetona y/o mezcla de CHO y electrolitos.</p>	<p>2 sesiones de 90min; separadas por 1 semana.</p> <p>Loughborough Intermittent Shuttle Test (Prueba que simula un Partido de fútbol).</p>	<p>Concentraciones de BHB en sangre oscilaban en 1.5 a 2.6 mM durante el ejercicio (p&lt;0.001). Glucosa y concentraciones plasmáticas fueron bajas en comparación del grupo control (CON).</p> <p>Variación cardiaca, percepción de del esfuerzo (RPE), tiempos de sprints de 15m y los sprints hasta el fallo no variaron vs CON.</p> <p>Nueve de once individuos presentaron molestias</p>	<p>Comparado con una solución de solo CHO, la coingestión de CE en el grupo atenuó la elevación de lactato en el plasma, sin beneficio en los tiempos de la prueba o desempeño.</p> <p>Una atenuación en el deterioro de realizar funciones después del ejercicio exhaustivo indica beneficios cognitivos tras consumir CE.</p>

				gastrointestinales, cómo: náusea, calambres, eructos, acidez, flatulencia y vómito. Hubo más fallas en una prueba múltiple de tareas en el grupo de control. No pasó lo mismo con el grupo de CE.	
(Evans, McSwiney, Brady, & Egan, 2019)  Diseño doble ciego aleatorio cruzado.  Irlanda	Corredores de larga y corta distancia (7H, 1M) de 33.5 +/- 7.3  n = 8	573mg*kg de BHB (R-3-hydroxybutyl R-3-hydroxybutyrate)	Consumo de suplemento 50% 30 min antes, 25% 30min en ejercicio y 25% 60min en ejercicio submaximal de 65% VO2max, más TT10km en una caminadora eléctrica.	Elevó las concentraciones BHB en sangre. Glucosa plasmática, lactato plasmático, utilización de VO2, frecuencia respiratoria, frecuencia cardíaca y RPE fueron similares entre ambos grupos.	La coingestión de cetonas monoéster solo elevó las concentraciones de BHB plasmático, sin mejorar tiempos en la prueba de 10km o en las pruebas rendimiento cognitivo.
(O'Malley, Myette-Cote, Durrer, & Little, 2017)  Diseño doble ciego aleatorio cruzado.  Canada.	Adultos varones sanos y activos (3 veces por semana AF).  n = 10	300mg * kg de BHB	30 min antes de iniciar se administró el suplemento.  Ejercicio estático al 30% por 5 min, 60% por 5 min y 90% por 5 min de umbral ventilatorio y un TT de 15min a 150kJ.	BHB en plasma se encontró más elevado durante toda la sesión en la condición de CE. Relación de intercambio respiratorio más bajo en grupo CE que control (p<0.05). Oxidación de grasas fue mejor en el grupo de CE que el control (p=0.05). La producción media de potencia en la TT fue más baja por 7% en el grupo de CE (p=0.029).	La elevación de BHB mediante el consumo de CE perjudica el rendimiento en ejercicios de alta intensidad y corta duración.  La ingestión de sales de CE antes del ejercicio incrementa la oxidación de grasas.
(Scott, et al., 2019)	Corredores de varones de 38 +/- 12 años.	500mg * kg de butanediol más 60g de CHO.	Dos pruebas de Correr en 60min submaximal más un TT de 5km	Elevación de BHB no alcanzó parámetros terapéuticos >2 mM	A pesar de la elevación de BHB en sangre mediante las CE+CHO, los resultados no

Diseño cruzado aleatorizado. Reino Unido	n = 11			Osmolalidad de orina, desempeño en las TT, concentración de glucosa en sangre, reacción de lactato en sangre y otros parámetros estudiados fueron similares entre los grupos de solo CHO y los del grupo CE+CHO.	muestran ninguna mejora ni alguna alteración en la utilización de sustrato de energía en el desempeño de correr 5km y posterior 60min de una carrera submaximal comparado con el grupo de CHO.
(Jo, y otros, 2020) Diseño doble ciego aleatorio. USA	Universitarios sanos (16H, 16M) entrenados en resistencia, entre 20-24 años. n = 32	10g de calcio 11,7 g de BHB de sodio 20 g de CHO (maltodextrina) 130mg de sodio y 95 mg de potasio por porción.	11min de calentamiento, posterior el TT1, luego 5min y culminan con TT2.  TT de 800m en caminadora estática sin motor a ritmo propio.	No se evidenciaron cambios entre grupos tanto en: reducción de tiempos en TT1, lactato plasmático. Se evidenció una ligera reducción de tiempo y recuperación para los TT2. No se evidenció una elevación de BHB en sangre aguda tras la suplementación.	No aporta beneficios ergogénicos observables en el rendimiento de carreras de 800m en un estado carente de fatiga. Sin embargo, puede que haya beneficios para atletas que hagan varias repeticiones de carreras de 800m.
(Waldman, et al., 2018) Diseño doble ciego aleatorio. USA	Hombres adultos universitarios de 20 a 26 años. n = 15	11,38g de BHB. Administrado 30min antes del ejercicio.	5 min de test cognitive Fit Light. Bicicleta estática para pruebas de 15s de Wingate Test. 30min aproximadamente por sesión (3 sesiones en total).	Niveles de BHB elevados vs el grupo placebo. No hubo diferencia significativa entre la potencia empleada en la prueba Wingate o los aciertos y fallos en el FitLight. La razón de que no hubo diferencias significativas fue la dosis empleada vs los g/kg que se administran en otros estudios.	El consumo de CE no mejora el rendimiento cognitivo ni el atlético en adultos universitarios.
(Shaw, et al., 2019) Diseño cruzado aleatorizado. Nueva Zelanda	Ciclistas varones entrenados de 26.7+/-5.2 años. n = 9	Precursor de BHB, el butanediol. 350mg*kg de peso corporal administrados.	Prueba de estado estable en bicicleta estática.  90min +/-	La ingestión de CE elevó el D-BHB en sangre en el grupo CE vs el grupo placebo. Glucosa sérica y lactato en sangre no fueron diferentes.	A pesar de los resultados y molestias GI; no se encontró evidencia suficiente para demostrar algún beneficio sobre deportes de resistencia.

				<p>El consumo de CE elevó el consumo de oxígeno vs el grupo placebo después de 20min (p=0.002 y p=0.032). Se reportaron 5 molestias gastrointestinales entre graves-severas y un bajo nivel de mareo; náusea y euforia fueron 2 casos.</p>
<p><i>Nota.</i> BHB, d-3-betahidroxiacetato; PC, pruebas cronometradas; mg, miligramos; kg, kilogramos; GI, gastrointestinales; CE, cetonas exógenas; +, más; -, menos; CHO, carbohidratos; H, hombres; M, mujeres; BIC, bicarbonato.</p>				

## 6. Discusión

El efecto metabólico esperado tras el consumo de los CE en los deportes de resistencia era de utilizarlas como otro sustrato de energía y que las reservas de glucógeno se ocupen posteriormente (Cox, y otros, 2016). Sin embargo, en los intentos de recrear dichas situaciones en los laboratorios, se observó que, tras alcanzar el estado de cetosis, no se beneficiaban los grupos que utilizaban CE en comparación del grupo control sin CE (Jo, y otros, 2020). Sin embargo, en los análisis realizados de (Dearlove, Faull, & Clarke, 2019) (Pinckaers, Churchward-Venne, Bailey, & van Looc, 2016) se obtuvieron conclusiones contrarias como que la utilización de la CE si reservaba las reservas de glucógeno. Por otro lado, se evidenció que el cuerpo utilizaba los sustratos disponibles según la necesidad corporal sin elevar el rendimiento físico (Evans, McSwiney, Brady, & Egan, 2019). Sin embargo, existe la posibilidad que, al forzar un estado diferente al cuerpo, los individuos no reaccionen de una forma favorable (O'Malley, Myette-Cote, Durrer, & Little, 2017). Por ejemplo, así lo menciona en el estudio de (O'Malley, Myette-Cote, Durrer, & Little, 2017) que la ingesta de CE perjudicó los tiempos y la potencia empleada en la prueba por la posible inhibición del glucolisis por la cetosis forzada. A diferencia, de los estudios de (Dearlove, Faull, & Clarke, 2019) que estipulaba su beneficio en deportes de resistencia, como los mencionados en la Tabla 1. No obstante, los estudios de (Dearlove, Faull, & Clarke, 2019) carecían de un protocolo unificado para el consumo de las CE. Sin embargo, el beneficio de este trabajo es que proporcionará una guía de suplementación que ayudará a posibles investigaciones a no iniciar de cero.

Las CE no presentan beneficios en los estudios a menos que se encuentren mezclados con otros ingredientes (Kackley, et al., 2020) (Poffé, Ramaekers,

Bogaerts, & Hespel, 2020). Por ejemplo, en el estudio de (Kackley, et al., 2020) existió un beneficio en las PC pero este artículo no sustenta la idea de que las CE se denominen ayudas ergogénicas. Debido a que, contenía una mezcla de varios ingredientes en el suplemento administrado por lo que no se puede atribuir el beneficio a un solo ingrediente (Kackley, et al., 2020). Además, se ocupó una dosis demasiado baja de una mezcla de 8,5g de BHB, llegando al estado de cetosis por un rango de 30min y reducción de este a los 60min de la actividad (Kackley, et al., 2020). Asimismo, también sucedió con (Poffé, Ramaekers, Bogaerts, & Hespel, 2020) que en este estudio se presentó la hipótesis que al ingerir simultáneamente bicarbonato de sodio (BIC) junto con CE ayudaría a prevenir la acidosis generada por las CE. De igual forma, se encontró que esta mezcla sí ayudó a mejorar el desempeño de alta intensidad en la etapa final del ejercicio a pesar de que los niveles de BHB en sangre se encontraban normales ( $\pm 0.5\text{mM}$ ) cuando se demostró la mejora ergogénica (Poffé, Ramaekers, Bogaerts, & Hespel, 2020). Posteriormente, (Poffé, Wyns, Ramaekers, & Hespel, 2020) trataron de separar los beneficios del BIC de las CE con otro estudio. No obstante, los beneficios solo se encontraron en los grupos que contenían BIC y no solo CE (Poffé, Wyns, Ramaekers, & Hespel, 2020). En suma, se aprecia que en los únicos estudios que se encontraron beneficios al ingerir el suplemento se encontraban varios ingredientes y no se podía atribuir el beneficio ergogénico generado a solo las CE (Kackley, et al., 2020) (Poffé, Wyns, Ramaekers, & Hespel, 2020).

Los rangos usados de CE en las pruebas varían según estudios (Cox, y otros, 2016). Sin embargo, la (AIS, 2021) estipula que los rangos más utilizados en las investigaciones oscilan entre 570-750mg/kg. De esta manera, el protocolo de administración en los estudios oscilaba de 15 a 30 min previos a realizar la actividad

principal (Evans, McSwiney, Brady, & Egan, 2019). Posteriormente, en el estudio de (Poffé, Ramaekers, Bogaerts, & Hespel, 2020) se evidenció que fraccionaban las tomas en partes iguales, para poder prolongar el estado de cetosis. Así, ciertos artículos de la presente revisión utilizaban otros protocolos, como el estudio de (Evans, McSwiney, Brady, & Egan, 2019) en el consumo del suplemento en dosis de 573mg\*kg de CE 30 min antes. Sin embargo, en el estudio se realizó pruebas con corredores entrenados y no se demostró ninguna mejora vs el grupo CON (Evans, McSwiney, Brady, & Egan, 2019). Asimismo, los resultados de (Scott, et al., 2019) demuestra como la coingestión de 60g CHO y 500mg\*kg de CE anula la elevación más allá de 2mM de BHB en sangre. Además, que los autores señalan esto como una limitación, ya que al no sobrepasar la concentración de 2mM se obtuvo un estado insuficiente de cetosis (Scott, et al., 2019). Asimismo, los autores (Poffé, Ramaekers, Bogaerts, & Hespel, 2020) estipulan que los posibles rangos donde las CE puedan generar una ayuda ergogénica se encuentran entre +/- 3mM de BHB en sangre y el consumo del suplemento dentro de los primeros 30min previos a la actividad principal. Ya que, más bajo de esos niveles no se podrían encontrar beneficios, y superior a ese nivel se presentan deterioros en el desempeño atlético y malestares gastrointestinales (Poffé, Ramaekers, Bogaerts, & Hespel, 2020). Por ejemplo, en ciertos casos se vieron efectos adversos como malestares gastro-intestinales al ingerir dosis mayores a 750mg de BHB x kg corporal; algunos de esos malestares eran: mareos, diarrea, náusea, vómito y euforia (Evans & Egan , 2018). Por lo cual, se demuestra que la dosis a emplear en el protocolo sería superior a 570mg y como límite 750mg en un lapso de 30min previos a la actividad, como lo estipula (Poffé, Ramaekers, Bogaerts, & Hespel, 2020) y la (AIS, 2021).

Los resultados encontrados hasta el momento parecen desalentadores para el uso de CE en los deportes de resistencia (Evans, McSwiney, Brady, & Egan, 2019). Ya que, siendo un limitante con la información obtenida, hasta la fecha de este trabajo no se han encontrado nuevos ensayos clínicos que prueben las nuevas teorías que se mencionan. Por ejemplo, las conclusiones de (Evans & Egan , 2018) aclaran que las aplicaciones podrían ser para deportes específicos de alta duración o para el entretiempo de sesiones largas de entrenamiento por diferentes mecanismos. Asimismo, las conclusiones de (Jo, y otros, 2020) recaen en el posible uso de las CE para deportes de muy larga duración como los que están en un estado subsecuente de fatiga por ejemplo un IronMan, triatlones o pentatlones. Sin embargo, no se encuentran estudios para corroborar dicha hipótesis de las CE en deportes específicos (Jo, y otros, 2020).

## **7. Conclusiones**

En conclusión, el consumo de CE no demuestra eficacia ergogénica en deportes de resistencia entre 1h a 3h de actividad. Sin embargo, se tomó en consideración la posible ayuda para la recuperación postejercicio y en deportes específicos de más alta duración como los mencionados en la Tabla 1. Aunque, todavía no se encuentra evidencia para dicha acción, por lo que se necesitan futuras investigaciones. Además, se explicó con detalle el metabolismo de las cetonas en el cuerpo tanto las exógenas como las producidas endógenamente. Sin embargo, sí existen efectos adversos como mareos, euforia y malestares intestinales que demostraban incomodidad y que sobrepasan las ligeras mejoras en los experimentos favorables. No obstante, en caso de querer recetar las CE, en los anexos se enseña una guía de suplementación de cetonas. Dónde, se proporciona información relevante de las CE, advertencias, efectos secundarios, parámetros para recetar y un protocolo de consumo a seguir. Así, el personal de salud puede decidir con evidencia científica si es pertinente la utilización de CE de una manera más específica. Ya que, hasta la fecha no se encuentra un protocolo conciso sobre la utilización de las CE y la que está anexada cuenta con la revisión crítica de un profesional de la salud sobre la información más actualizada adquirida.

## **8. Recomendaciones**

Se recomienda que el consumo de las CE quede bajo decisión del profesional de salud, según los estrictos parámetros, protocolos revisados, siguiendo dosis sugeridas y recomendaciones adicionales de profesionales de la salud en los casos específicos para evitar perjuicios a la salud. Además, en casos de éxito en algún paciente analizar si el consumo de CE es viable económicamente sostenible para tiempos prolongados. Por lo tanto, con el paciente se debería discutir si las CE podrían incluirse en su programa de suplementación con su profesional de nutrición, abordando los temas mencionados previamente. Por otra parte, una recomendación para las futuras generaciones de profesionales de la nutrición es generar ensayos clínicos sobre los suplementos que se encuentran en los grupos B y C de la AIS con los deportistas ecuatorianos. Así, se podría recopilar información sobre los suplementos que sí podrían beneficiar a la población deportiva ecuatoriana. En conclusión, se recomienda contar con información fidedigna para poder realizar cualquier sugerencia con respecto al uso de las CE.

## 9. Bibliografía

- Ahrendt , D. M. (2001). Ergogenic Aids: Counseling the Athlete. En A. F. Physician, *Clinical Opinion* (Vol. 63 (5), págs. 913-922). Recuperado el 10 de febrero de 2022, de <https://www.aafp.org/afp/2001/0301/p913.html>
- AIS. (Marzo de 2021). *Australian Institute of Sports*. Recuperado el 19 de junio de 2022, de [https://www.ais.gov.au/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0014/1000841/Position-Statement-Supplements-and-Sports-Foods-abridged\\_v2.pdf](https://www.ais.gov.au/__data/assets/pdf_file/0014/1000841/Position-Statement-Supplements-and-Sports-Foods-abridged_v2.pdf)
- Cox, P. J., & Clarke, K. (2014). Acute nutritional ketosis: implications for exercise performance and metabolism. *Extreme Physiology & Medicine*, 3(17), 1-9. Recuperado el 05 de junio de 2022, de <https://link.springer.com/content/pdf/10.1186/2046-7648-3-17.pdf>
- Cox, P., Kirk, T., Ashmore, T., Willerton, K., Evans, R., Smith, A., . . . Clarke, K. (2016). Nutritional Ketosis Alters Fuel Preference and Thereby Endurance Performance in Athletes. *Cell Metabolism*, 24(2), 256-268. doi:10.1016/j.cmet.2016.07.010
- Dhillon, K. K., & Gupta, S. (10 de 02 de 2022). *National Library of Medicine*. Obtenido de *Biochemistry, Ketogenesis:* <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK493179/>
- Egan, B., & D'Agostino, D. (2016). Fueling Performance: Ketones Enter the Mix. *Cell Metabolism*, 24(3), 373. doi:10.1016/j.cmet.2016.08.021
- Evans, M., & Egan , B. (2018). Intermittent Running and Cognitive Performance after Ketone Ester Ingestion. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 50(11), 2330-2338. doi:10.1249/mss.0000000000001700

- Evans, M., McSwiney, F. T., Brady, A. J., & Egan, B. (2019). No Benefit of Ingestion of a Ketone Monoester Supplement on 10-km Running Performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 51(12), 2506-2515. doi:10.1249/mss.0000000000002065
- Gil de Antuñano, N., Manonelles Marqueta, P., Blasco Redondo, R., Contreras Fernández, C., Franco Bonafonte, L., Gaztañaga Aurrekoetxea, T., . . . del Valle Soto, M. (2019). Suplementos nutricionales para el deportista. Ayudas ergogénicas en el deporte - 2019. Documento de consenso de la Sociedad Española de Medicina del Deporte. *Arch Med Deporte*, 36(1), 7-83. Recuperado el 20 de junio de 2022, de <https://archivosdemedicinadeldeporte.com/articulos/upload/Doc-consenso-ayudas-2019.pdf>
- Hall, J. E., & Guyton, A. (2021). *Guyton y Hall. Compendio de fisiología médica* (14 ed.). Elsevier. Recuperado el 12 de febrero de 2022
- Jo, E., Silva, MS, S. C., Auslander, PhD, A. T., Arreglado, MS, J. P., Elam, PhD, M. L., Osmond, MS, A. D., . . . Wong, MS, M. W. (2020). The Effects of 10-Day Exogenous Ketone Consumption on Repeated Time Trial Running Performances: A Randomized-Control Trial. *Journal of Dietary Supplements*, 19(1), 34-48. doi:10.1080/19390211.2020.1838022
- Kackley, M. L., Short, J. A., Hyde, P. N., LaFountain, R. A., Buga, A., Miller, V. J., . . . Volek, J. S. (2020). A Pre-Workout Supplement of Ketone Salts, Caffeine, and Amino Acids Improves High-Intensity Exercise Performance in Keto-Naïve and Keto-Adapted Individuals. *Journal of the American College of Nutrition*, 39(4), 290-300. doi:10.1080/07315724.2020.1752846

- Margolis, L. M., & O'Fallon, K. S. (05 de octubre de 2019). Utility of Ketone Supplementation to Enhance Physical Performance: A Systematic Review. *Advances in Nutrition*, 11(2), 412-419. doi:<https://doi.org/10.1093/advances/nmz104>
- Melo, L., Moreno, H., & Aguirre, H. (2012). Métodos de entrenamiento de resistencia y fuerza empleados por los entrenadores para los IX juegos sudamericanos, Medellín, Colombia, 2010. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 15, 77-85. doi:10.31910/rudca.v15.nsup.2012.895
- Merino-Trujillo, A. (2011). Como escribir documentos científicos (Parte 3). Artículo de. *Salud en Tabasco*, 17(1-2), 36-40. Recuperado el 05 de Mayo de 2022, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48721182006>
- Morici, G., Gruttad'Auria, C. I., Baiamonte, P., Mazzuca, E., Castrogiovanni, A., & Bonsignore, M. R. (2016). Endurance training: is it bad for you? *Breathe*, 12(2), 140-147. doi:10.1183/20734735.007016
- Murray, R. K., Bender, D. A., Botham, K. M., Kennelly, P. J., Rodwell, V. W., & Weil, A. P. (2013). *Haper. Bioquímica Ilustrada, 29a edición*. McGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES, S.A. de C.V.
- Murray, R. K., Granner, D. K., Mayes, P. A., & Rodwell, V. W. (1992). *Bioquímica de Harper (22 ed.)*. Manual Moderno. Recuperado el 14 de febrero de 2022
- O'Malley, T., Myette-Cote, E., Durrer, C., & Little, J. P. (2017). Nutritional ketone salts increase fat oxidation but impair high-intensity exercise performance in healthy adult males. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 42(10), 1031-1035. doi:10.1139/apnm-2016-0641

- Olivos, C., Cuevas, A., Álvarez, V., & Jorquera, C. (2012). Nutrición Para el Entrenamiento y la Competición. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 23(3), 253-261. doi:10.1016/s0716-8640(12)70308-5
- Onzari, M. (2014). *Alimentación y deporte. Guía práctica* (2 ed.). Buenos Aires: El Ateneo. Recuperado el 5 de enero de 2022
- Pinckaers, P. J., Churchward-Venne, T. A., Bailey, D., & van Looc, L. J. (18 de Julio de 2016). Ketone Bodies and Exercise Performance: The Next Magic Bullet or Merely Hype? *Sports Medicine*, 47, 383-391. doi:https://doi.org/10.1007/s40279-016-0577-y
- Poffé, C., Ramaekers, M., Bogaerts, S., & Hespel, P. (2020). Bicarbonate Unlocks the Ergogenic Action of Ketone Monoester Intake in Endurance Exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 53(2), 431-441. doi:10.1249/mss.0000000000002467
- Poffé, C., Wyns, F., Ramaekers, M., & Hespel, P. (2020). Exogenous Ketosis Impairs 30-min Time-Trial Performance Independent of Bicarbonate Supplementation. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 53(5), 1068-1078. doi:10.1249/mss.0000000000002552
- Sánchez Oliver, A. J., Miranda León, M. T., & Guerra Hernandez, E. (2008). Estudio estadístico del consumo de suplementos nutricionales y dietéticos en gimnasios. En *Archivos Latinoamericanos de nutrición* (Vol. 58 (3), págs. 221-227). Recuperado el 10 de febrero de 2022, de [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0004-06222008000300002&lng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222008000300002&lng=es).

- Sansone, M., Sansone, A., Borrione, P., Romanelli, F., Di Luigi, L., & Sgrò, P. (Diciembre de 2018). Effects of Ketone Bodies on Endurance Exercise. *Current Sports Medicine Reports*, 17(12), 444-453. doi:doi:10.1249/JSR.0000000000000542
- Santesteban Moriones, V., & Ibañez Santos, J. (2017). Ayudas ergogénicas en el deporte. En *Scielo España* (Vol. 34 (1), págs. 204-2015). España. doi:https://dx.doi.org/10.20960/nh.997
- Scott, B. E., Laursen, P. B., James, L. J., Boxer, B., Chandler, Z., Lam, E., . . . Mears, S. A. (2019). The effect of 1,3-butanediol and carbohydrate supplementation on running performance. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 22(6), 702-706. doi:10.1016/j.jsams.2018.11.027
- Shahril Mansor, L., & Hubert Woo, G. (2021). Cetonas para la recuperación después del ejercicio: posibles aplicaciones y mecanismos. *PubliCE*. Recuperado el 6 de febrero de 2022, de <https://journal.onlineeducation.center/api-oas/v1/articles/sa-c6026db055634f/export-pdf/cetonas-para-la-recuperacion-despues-del-ejercicio-posibles-aplicaciones-y-mecanismos-2844>
- Shaw, D. M., Merien, F., Braakhuis, A., Plews, D., Laursen, P., & Dulson, D. K. (2019). The Effect of 1,3-Butanediol on Cycling Time-Trial Performance. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 29(5), 466-473. doi:10.1123/ijsnem.2018-0284
- Thein, L. A., Thein, J. M., & Landry, G. L. (1995). Ergogenic Aids. *Physical Therapy*, 75(5), 426-439. doi:10.1093/ptj/75.5.426

Valenzuela, P. L., Castillo-Garcia, A., Morales, J. S., & Lucia, A. (15 de julio de 2020). Update on the Acute Effects of Ketone Supplements in Athletes. *Advances in Nutrition*, 11(4), 1050-1051. doi:<https://doi.org/10.1093/advances/nmaa043>

Waldman, H. S., Basham, S. A., Price, F. G., Smith, J. W., Chander, H., Knight, A. C., . . . McAllister, M. J. (2018). Exogenous ketone salts do not improve cognitive responses after a high-intensity exercise protocol in healthy college-aged males. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 43(7), 711-717. doi:[10.1139/apnm-2017-0724](https://doi.org/10.1139/apnm-2017-0724)

## Anexos

### Figura

*Guía Para el Uso de Cetonas Exógenas en Deportes de Resistencia*



## ¿Qué son las cetonas exógenas y para qué sirven?

Las cetonas exógenas (CE) al ser ingeridas, generan un estado de cetosis forzada en el cuerpo. Que, significa que ya no se va a utilizar a los carbohidratos (CHO) almacenados como glucógeno como principal energía sino los cuerpos cetónicos generados por la oxidación de ácidos grasos libres.

Los cuerpos cetónicos son 3 principales, la acetona, y el acetoacetato y 3-betahidroxibutirato (BHB) que son producidos naturalmente en el hígado tras ayunos prolongados o restricción de CHO en la dieta. El BHB se identifica con más facilidad en las muestras de sangre y en los estudios demuestra un estado de cetosis cuando sobrepasa los 1mM en sangre.

### **Supuestos beneficios tras el consumo de las cetonas exógenas**

Beneficios en los deportes de resistencia por el cambio de sustrato de energía de CHO a los cuerpos cetónicos.

Recuperación superior por el estado de cetosis.

Ahorro de glucógeno por la cetosis forzada y posterior utilización en las etapas finales del evento donde normalmente el glucógeno es el primero en utilizar.

Nota: hasta la fecha no han sido promovidas del grupo de suplementos categoría B.de la Australian Sport Institute.

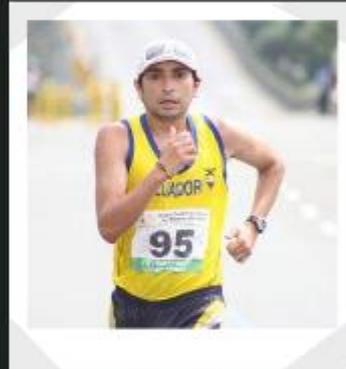
## ¿Qué son los deportes de resistencia?

Los deportes de resistencia se caracterizan por la utilización de grandes grupos musculares de manera repetitiva durante varias horas. Esto, significa que los deportes o actividades que son explosivos como el levantamiento de pesas, carreras de 100m no son considerados de resistencia.

A continuación se les indica ejemplos de deportes de resistencia para los que se ocuparían CE:



**Ciclismo**



**Atletismo: distancia**



**Natación**



**Triatlones o pentatlones**

## Advertencia

Existe la posibilidad de presentar los siguientes síntomas tras el consumo de las CE. Ya que, el cuerpo puede reaccionar de diferentes formas tras su ingesta. A continuación se detallarán los posibles efectos adversos:



## ¿Quiénes pueden utilizar este suplemento?



## Protocolo sugerido para el consumo

El profesional de la salud se encargará de aplicar este protocolo

1

### Determinar dosis de consumo

Dosis recomendada: 570mg a 750mg x kg de peso corporal.

Nota: empezar con la más baja.

Ejemplo: persona de 60kg, consumiría:  
 $0,570g \times 60kg = 34,2 \text{ g de CE.}$

2

### Modo de preparación

Mezclar la dosis inicial más baja y líquido no calórico entre 750ml a 1000ml según gusto y tolerancia.

3

### Modo de administración

Separar la bebida en 3 partes iguales.

En un estado de ayunas:

Primera parte consumir 15 a 30 min antes de realizar la actividad principal.  
Segunda parte al iniciar la actividad principal o dentro de los primeros 30 min.  
Última parte en la mitad o tercera parte de la actividad principal.

4

### Retroalimentación

Identificar si hubo mejoras y bajo qué condiciones fueron estos resultados.

Identificar si hubo molestias y qué tan repetitivo fue durante la actividad.

5

### Veredicto

Determinar si las mejoras son sustentables a largo plazo bajo la suplementación continua de CE.

Determinar si las molestias son graves y detener su uso.

## Referencias

Evans, M., McSwiney, F. T., Brady, A. J., & Egan, B. (2019). No Benefit of Ingestion of a Ketone Monoester Supplement on 10-km Running Performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 51(12), 2506-2515. doi:10.1249/mss.0000000000002065

Evans, M., & Egan, B. (2018). Intermittent Running and Cognitive Performance after Ketone Ester Ingestion. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 50(11), 2330-2338. doi:10.1249/mss.0000000000001700

Jo, E., Silva, MS, S. C., Auslander, PhD, A. T., Arreglado, MS, J. P., Elam, PhD, M. L., Osmond, MS, A. D., . . . Wong, MS, M. W. (2020). The Effects of 10-Day Exogenous Ketone Consumption on Repeated Time Trial Running Performances: A Randomized-Control Trial. *Journal of Dietary Supplements*, 19(1), 34-48. doi:10.1080/19390211.2020.1838022

Kackley, M. L., Short, J. A., Hyde, P. N., LaFountain, R. A., Buga, A., Miller, V. J., . . . Volek, J. S. (2020). A Pre-Workout Supplement of Ketone Salts, Caffeine, and Amino Acids Improves High-Intensity Exercise Performance in Keto-Naïve and Keto-Adapted Individuals. *Journal of the American College of Nutrition*, 39(4), 290-300. doi:10.1080/07315724.2020.1752846

O'Malley, T., Myette-Cote, E., Durrer, C., & Little, J. P. (2017). Nutritional ketone salts increase fat oxidation but impair high-intensity exercise performance in healthy adult males. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 42(10), 1031-1035. doi:10.1139/apnm-2016-0641

Morici, G., Gruttad'Auria, C. I., Baiamonte, P., Mazzuca, E., Castrogiovanni, A., & Bonsignore, M. R. (2016). Endurance training: is it bad for you? *Breathe*, 12(2), 140-147. doi:10.1183/20734735.007016



## Referencias

Poffé, C., Ramaekers, M., Bogaerts, S., & Hespel, P. (2020). Bicarbonate Unlocks the Ergogenic Action of Ketone Monoester Intake in Endurance Exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 53(2), 431-441. doi:10.1249/mss.0000000000002467

Poffé, C., Wyns, F., Ramaekers, M., & Hespel, P. (2020). Exogenous Ketosis Impairs 30-min Time-Trial Performance Independent of Bicarbonate Supplementation. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 53(5), 1068-1078. doi:10.1249/mss.0000000000002552

Shaw, D. M., Merien, F., Braakhuis, A., Plews, D., Laursen, P., & Dulson, D. K. (2019). The Effect of 1,3-Butanediol on Cycling Time-Trial Performance. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 29(5), 466-473. doi:10.1123/ijsnem.2018-0284

Scott, B. E., Laursen, P. B., James, L. J., Boxer, B., Chandler, Z., Lam, E., . . . Mears, S. A. (2019). The effect of 1,3-butanediol and carbohydrate supplementation on running performance. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 22(6), 702-706. doi:10.1016/j.jsams.2018.11.027

Waldman, H. S., Basham, S. A., Price, F. G., Smith, J. W., Chander, H., Knight, A. C., . . . McAllister, M. J. (2018). Exogenous ketone salts do not improve cognitive responses after a high-intensity exercise protocol in healthy college-aged males. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 43(7), 711-717. doi:10.1139/apnm-2017-0724