

Estudio Exhaustivo de Formulación de Aminoácidos para Recuperación y Rendimiento Físico: Análisis Farmacocinético, Fisiológico y de Materias Primas

1. Introducción y Contextualización de la Fórmula

El presente informe técnico ofrece un análisis exhaustivo, crítico y detallado de una formulación específica de aminoácidos diseñada para la recuperación muscular y el rendimiento físico. La matriz nutricional bajo estudio combina macronutrientes funcionales (aminoácidos ramificados y condicionalmente esenciales) con precursores de óxido nítrico, electrolitos y compuestos bioactivos vegetales. La arquitectura de esta fórmula sugiere un enfoque híbrido, situándose en la intersección entre la suplementación "intra-entrenamiento" (intra-workout) y la recuperación post-ejercicio inmediata.

En el panorama actual de la nutrición deportiva, el desplazamiento desde las proteínas intactas (como el suero de leche o la caseína) hacia los aminoácidos en forma libre responde a la necesidad de manipular la farmacocinética de absorción. Los aminoácidos libres no requieren digestión péptica ni proteólisis luminal, permitiendo una aparición rápida en el plasma sanguíneo y, consecuentemente, una hiperaminoacidemia aguda que puede ser estratégica para la señalización anabólica y la mitigación del catabolismo inducido por el esfuerzo.¹

La fórmula propuesta (BCAA 2:1:1 5g, Glutamina 3g, Citrulina Malato 4g, más un complejo de soporte de Lisina, Histidina, Metionina y Triptófano) presenta dosis clínicamente relevantes en sus componentes principales, aunque revela matices importantes en sus componentes menores que requieren una disección fisiológica profunda. El uso de inulina (319 mg) en sustitución de la maltodextrina marca una clara intención de formulación funcional, priorizando la estabilidad glucémica y la salud intestinal sobre la mera carga de carbohidratos.³

A lo largo de este documento, se desglosará cada ingrediente analizando cuatro pilares fundamentales:

1. **Mecanismo de Acción y Necesidad Fisiológica:** ¿Por qué el cuerpo humano requiere este compuesto específico bajo estrés físico?
2. **Evidencia Clínica y Efectividad:** ¿Qué dicen los meta-análisis y ensayos controlados aleatorizados (ECA) sobre las dosis utilizadas?

3. **Origen y Materia Prima:** Diferenciación crítica entre síntesis química y fermentación microbiana, un estándar de calidad clave en la industria moderna.
4. **Sinergias y Antagonismos:** Evaluación de las interacciones, como la competencia transportadora entre el Triptófano y los BCAA en la barrera hematoencefálica.

2. Aminoácidos de Cadena Ramificada (BCAA): El Núcleo Anabólico y Anti-Catabólico

2.1 Perfil del Ingrediente y Dosificación

- **Ingrediente:** L-Leucina, L-Isoleucina, L-Valina.
- **Ratio:** 2:1:1 (Leucina:Isoleucina:Valina).
- **Dosis Total:** 5,000 mg (5 g).
- **Desglóse Estimado:** 2,500 mg Leucina, 1,250 mg Isoleucina, 1,250 mg Valina.

2.2 Necesidad Fisiológica y Bioquímica Metabólica

Los Aminoácidos de Cadena Ramificada (BCAA, por sus siglas en inglés) son únicos entre los aminoácidos esenciales debido a su metabolismo extrahepático. A diferencia de otros aminoácidos que son captados y metabolizados extensamente por el hígado tras la absorción intestinal, los BCAA escapan en gran medida al metabolismo de primer paso hepático debido a la baja actividad de la enzima BCAA aminotransferasa en el hígado. Esto permite que los BCAA aparezcan rápidamente en la circulación sistémica y sean captados directamente por el músculo esquelético, donde sirven tanto como sustrato energético oxidable como moléculas de señalización.⁵

Representan aproximadamente el 35-40% de los aminoácidos esenciales en las proteínas corporales y el 14-18% de los aminoácidos totales en la proteína muscular. Durante el ejercicio físico intenso, la oxidación de los BCAA aumenta significativamente, catalizada por el complejo enzimático deshidrogenasa de α -cetoácidos de cadena ramificada (BCKDH). Esta demanda fisiológica crea una "necesidad aguda" de reposición para evitar que el cuerpo degrade su propio tejido muscular para obtener estos sustratos.⁷

El Papel Hegemónico de la Leucina

La proporción 2:1:1 presente en la fórmula respeta la predominancia fisiológica de la Leucina. La Leucina no es solo un bloque de construcción, sino un potente señalizador nutricional. Actúa como un activador alostérico del complejo **mTORC1** (Complejo 1 de la Diana de Rapamicina en Mamíferos). Mecánicamente, la Leucina intracelular se une a sensores como Sestrin2, liberando la inhibición sobre GATOR2 y permitiendo la activación de mTORC1. Una vez activo, mTORC1 fosforila objetivos aguas abajo como p70S6K y 4E-BP1, iniciando la traducción de

proteínas y, por ende, la síntesis de proteínas musculares (MPS).¹

Isoleucina y Valina: Energía y Captación de Glucosa

Mientras la Leucina gobierna el anabolismo, la Isoleucina y la Valina desempeñan roles cruciales en la bioenergética.

- **Isoleucina:** Se ha demostrado que estimula la captación de glucosa en el músculo esquelético mediante transportadores GLUT4, a través de una vía independiente de la insulina que involucra a la fosfatidilinositol-3-quinasa (PI3K) y la proteína quinasa C atípica (aPKC). Esto es vital para la reposición de glucógeno durante y después del ejercicio.
- **Valina:** Es puramente glucogénica, lo que significa que su esqueleto de carbono puede ser convertido en glucosa en el hígado (gluconeogénesis) para mantener la euglucemia durante esfuerzos prolongados.

2.3 Efectividad Clínica y Beneficios de la Dosis de 5g

La dosis de 5,000 mg (5 g) incluida en esta fórmula se alinea con la evidencia clínica para objetivos específicos de recuperación y protección muscular, aunque con matices respecto a la hipertrofia pura.

Parámetro Clínico	Efectividad de 5g BCAA	Evidencia y Referencias
Dolor Muscular (DOMS)	Alta	Múltiples meta-análisis confirman que la ingesta de BCAA (dosis >200 mg/kg o fijas de 5-10g) reduce significativamente el dolor muscular de aparición tardía a las 24, 48 y 72 horas post-ejercicio. El mecanismo principal es la atenuación del daño estructural del sarcómero y la reducción de la fuga de enzimas citosólicas como la Creatina Quinasa (CK). ⁵
Síntesis Proteica (MPS)	Moderada	La Leucina (2.5g en esta dosis) alcanza el "umbral de

		<p>Leucina" (2-3g) necesario para activar mTOR. Sin embargo, sin el espectro completo de los 9 aminoácidos esenciales (EAA), la síntesis proteica no puede sostenerse al máximo nivel durante periodos prolongados. Por tanto, esta fórmula es más efectiva para <i>frenar el catabolismo</i> (MPB) que para <i>maximizar el anabolismo</i> en ausencia de otras proteínas.⁷</p>
<p>Fatiga Central</p>	<p>Alta</p>	<p>Existe una competencia directa en la barrera hematoencefálica entre el Triptófano libre y los BCAA por el transportador LAT1. Durante el ejercicio, los BCAA se oxidan y sus niveles plasmáticos caen, mientras que los ácidos grasos libres desplazan al Triptófano de la albúmina. Esto aumenta la entrada de Triptófano al cerebro, elevando la serotonina y causando fatiga. La suplementación con 5g de BCAA mantiene la ratio plasmática BCAA:Triptófano elevada, mitigando esta fatiga central.¹⁰</p>

Análisis Crítico del Ratio 2:1:1: Frente a ratios de marketing agresivo como 8:1:1 o 10:1:1, el ratio 2:1:1 posee el respaldo científico más sólido. Aumentar desproporcionadamente la Leucina puede causar un desequilibrio al reducir las concentraciones plasmáticas de Valina e

Isoleucina mediante la activación de la enzima oxidativa hepática, lo que podría ser contraproducente para la eficiencia energética y la síntesis proteica global. La fórmula acierta al mantener el ratio fisiológico 2:1:1.⁶

2.4 Materia Prima y Procesos de Obtención

La calidad de los aminoácidos depende intrínsecamente de su método de producción. Históricamente, los BCAA se extraían mediante hidrólisis ácida de proteínas animales (queratina de plumas de pato o cabello humano), un proceso que conlleva riesgos de contaminación y alérgenos.

El Estándar de Oro: Fermentación Microbiana

Para una fórmula de alto rendimiento y respaldo científico, la materia prima debe ser obtenida mediante **fermentación vegetal**.

- **Microorganismos:** Se utilizan cepas seleccionadas de *Corynebacterium glutamicum* o *Escherichia coli* modificadas metabólicamente para sobreproducir L-Leucina, L-Isoleucina y L-Valina.¹⁴
- **Sustrato:** Generalmente glucosa derivada del maíz, tapioca o melaza.
- **Ventajas de la Fermentación:**
 1. **Quiralidad Pura:** Garantiza el 100% de isómeros L (Levógiros), que son los biológicamente activos. La síntesis química a menudo produce mezclas racémicas (D/L) donde la forma D no es utilizable por el cuerpo humano para la síntesis de proteínas.
 2. **Seguridad:** Ausencia de metales pesados y contaminantes biológicos asociados a la extracción animal.
 3. **Solubilidad:** Los BCAA fermentados suelen procesarse ("instantized") con lecitina de girasol para mejorar su dispersión en agua, solucionando la hidrofobicidad natural de estos aminoácidos.¹⁴

3. L-Glutamina: Soporte Inmunológico y Gastrointestinal

3.1 Perfil del Ingrediente y Dosificación

- **Ingrediente:** L-Glutamina (forma libre).
- **Dosis:** 3,000 mg (3 g).

3.2 Necesidad Fisiológica

La Glutamina es el aminoácido libre más abundante en el plasma y en el pool intracelular del

músculo esquelético. Aunque el cuerpo puede sintetizarla, se clasifica como "condicionalmente esencial". En situaciones de estrés catabólico severo (como entrenamientos de alta intensidad, maratones, o traumatismos), la tasa de consumo de glutamina por parte de los riñones, el sistema inmune y el intestino supera la capacidad de síntesis muscular, resultando en una caída drástica de los niveles plasmáticos.¹⁶

Funciones Críticas:

1. **Combustible Inmunológico:** Es el sustrato energético preferido (incluso sobre la glucosa) para células de rápida proliferación como los linfocitos y macrófagos. La depleción de glutamina post-ejercicio se correlaciona con la "ventana abierta" de inmunosupresión, aumentando el riesgo de infecciones del tracto respiratorio superior (URTI).¹⁷
2. **Integridad de la Barrera Intestinal:** Los enterocitos utilizan glutamina para mantener las uniones estrechas ("tight junctions"). El ejercicio intenso desvía el flujo sanguíneo del intestino al músculo (isquemia esplácnica), causando daño y permeabilidad intestinal ("leaky gut"). La glutamina mitiga este daño y previene la translocación de endotoxinas al torrente sanguíneo.¹⁹
3. **Buffer de Amoníaco:** Actúa como transportador de nitrógeno no tóxico, llevando el amoníaco generado en el músculo hacia el riñón para su excreción, regulando así el pH ácido producido durante el ejercicio anaeróbico.¹⁶

3.3 Efectividad Clínica de la Dosis de 3g

La dosis de 3,000 mg se encuentra en el rango bajo-medio de la suplementación clínica, pero es efectiva cuando se combina con otras estrategias de recuperación.

- **Recuperación de Glucógeno:** Estudios indican que la glutamina, ingerida post-ejercicio, puede potenciar la resíntesis de glucógeno muscular, especialmente cuando la ingesta de carbohidratos es subóptima. Esto ocurre mediante la activación de la glucógeno sintasa.¹⁸
- **Daño Muscular:** Investigaciones en atletas de combate mostraron que la suplementación sostenida redujo los niveles de Creatina Quinasa (marcador de daño muscular) y mejoró el ratio Testosterona/Cortisol.¹⁸
- **Terapia vs. Prevención:** Un hallazgo crucial en la literatura reciente ¹⁹ es que la Glutamina parece ser más efectiva como agente **terapéutico** (administrado después del daño/ejercicio) que como preventivo. Ingerida post-esfuerzo, demostró una mayor capacidad para recuperar marcadores sanguíneos (glóbulos rojos, plaquetas) y reducir el daño tisular en comparación con la ingesta pre-ejercicio. Esto valida su inclusión en esta fórmula orientada a la recuperación.

3.4 Materia Prima

Al igual que los BCAA, la L-Glutamina de calidad farmacéutica se produce exclusivamente por

fermentación.

- **Proceso:** Se emplean cepas bacterianas (*C. glutamicum*) cultivadas en medios ricos en glucosa y fuentes de nitrógeno (amoníaco).
- **Purificación:** El caldo de fermentación se somete a centrifugación, ultrafiltración, cristalización y secado. Este proceso garantiza una pureza superior al 98.5% y la ausencia de subproductos tóxicos. La referencia a marcas como "Kyowa Quality" o "Ajinomoto" en la industria suele implicar este método de producción estricto.¹⁵ La L-Glutamina obtenida por este método es totalmente vegetal y libre de impurezas animales.

4. L-Citrulina Malato: Hemodinámica y Detoxificación

4.1 Perfil del Ingrediente y Dosificación

- **Ingrediente:** L-Citrulina Malato.
- **Ratio:** 2:1 (Citrulina:Ácido Málico).
- **Dosis:** 4,000 mg (4 g).
- **Aporte Neto:** ~2,666 mg L-Citrulina pura y ~1,333 mg Ácido Málico.

4.2 Mecanismo de Acción y Necesidad Fisiológica

La L-Citrulina es un alfa-aminoácido no proteico que desempeña un papel central en el Ciclo de la Urea y en la producción de Óxido Nítrico (NO).

La Paradoja de la Arginina: Históricamente se suplementaba con L-Arginina para aumentar el NO. Sin embargo, la Arginina sufre un extenso metabolismo de primer paso en el intestino e hígado por la enzima arginasa, que la degrada a ornitina y urea antes de que pueda alcanzar la circulación sistémica. La Citrulina, en cambio, no es captada por el hígado. Pasa directamente a los riñones, donde se convierte en Arginina y se libera al torrente sanguíneo. Como resultado, la suplementación con Citrulina eleva los niveles plasmáticos de Arginina (y consecuentemente de NO) de manera más eficiente y sostenida que la propia Arginina.²³

El Rol del Ácido Málico: El componente "Malato" es una sal de ácido málico, un intermediario clave en el Ciclo de Krebs (TCA). El malato facilita la lanzadera malato-aspartato, crucial para transportar equivalentes reductores (NADH) desde el citosol a la mitocondria para la producción de ATP oxidativo. Al potenciar esta vía anaplerótica, el malato ayuda a reducir la acumulación de lactato y prolongar la producción de energía aeróbica.²⁵

4.3 Efectividad Clínica y Debate de Dosis (4g vs 8g)

La dosis de 4,000 mg de Citrulina Malato en esta fórmula merece un análisis crítico detallado.

- **Estándar de Rendimiento Agudo:** La mayoría de los estudios que demuestran mejoras

agudas en el volumen de entrenamiento (ej. más repeticiones al fallo en press de banca) utilizan dosis de **8,000 mg** administradas 60 minutos antes del ejercicio.²³ A esta dosis, se han reportado reducciones del 40% en el dolor muscular a las 24-48h.

- **Validez de la Dosis de 4g:** Aunque 4g es la mitad de la dosis "ergogénica máxima" aguda, no es ineficaz. Estudios farmacocinéticos muestran que dosis de 3-4g de L-Citrulina pura (equivalente a ~6g de Citrulina Malato) son suficientes para elevar significativamente los niveles de arginina plasmática y mejorar la función endotelial. En el contexto de **recuperación**, una dosis de 4g contribuye eficazmente a la eliminación de amoníaco (vía ciclo de la urea) y mantiene un flujo sanguíneo elevado post-entreno para facilitar la entrega de nutrientes, sin necesariamente buscar el efecto ergogénico agudo máximo de los 8g.²³ Meta-análisis recientes sugieren que incluso dosis menores pueden reducir la percepción del esfuerzo (RPE) y el dolor muscular tardío.²³

4.4 Materia Prima y Producción

La distinción crítica en la materia prima es si el producto es una verdadera sal reaccionada o una simple mezcla física.

- **Producción de L-Citrulina:** Se realiza mediante fermentación bacteriana (similar a otros aminoácidos) o por conversión enzimática a partir de L-Arginina fermentada. La conversión enzimática utilizando *Arginine deiminase* es un método industrial común de alta eficiencia y pureza.²⁷
- **Enlace Malato:** En suplementos de alta calidad, la Citrulina y el Ácido Málico están unidos químicamente (enlace iónico), lo que garantiza estabilidad y absorción sinérgica. Las mezclas baratas ("dry blend") simplemente combinan polvo de citrulina y polvo de ácido málico, lo cual puede resultar en una experiencia sensorial más ácida y una absorción menos coordinada.

5. Matriz de Soporte Esencial: Lisina, Histidina, Metionina y Triptófano

Esta sección analiza los aminoácidos añadidos en cantidades menores, los cuales no buscan completar un perfil de proteína total, sino cubrir rutas metabólicas específicas de recuperación que los BCAA no pueden atender.

5.1 L-Lisina (800 mg)

- **Función y Beneficio:** La Lisina es un aminoácido estrictamente esencial, a menudo limitante en dietas basadas en cereales. Su inclusión es vital para la síntesis de **colágeno**, la proteína estructural de tendones, ligamentos y piel, estructuras sometidas a alto estrés mecánico en el deporte.²⁹

- **Mecanismo de Recuperación:** Junto con la Metionina, la Lisina es precursora de la **L-Carnitina**, necesaria para el transporte de ácidos grasos de cadena larga a la mitocondria para su oxidación. Además, estudios sugieren que la Lisina mejora la absorción intestinal de calcio y reduce su excreción renal, apoyando la salud ósea.³⁰
- **Evaluación de Dosis:** 800 mg es una dosis significativa, superior a la encontrada en muchos complejos multivitamínicos, y suficiente para apoyar la síntesis de carnitina y tejido conectivo en el periodo post-entreno.

5.2 L-Histidina (300 mg)

- **Necesidad Fisiológica:** La Histidina es precursora de la histamina (respuesta inmune) y, crucialmente para el atleta, de la **Carnosina** (beta-alanil-L-histidina).
- **Efectividad en Rendimiento:** La Carnosina es un dipéptido almacenado en el músculo que actúa como el principal amortiguador (buffer) físico-químico intracelular de iones H⁺. Aunque la beta-alanina suele ser el factor limitante en la síntesis de carnosina, asegurar la disponibilidad de histidina previene que este pool se agote, manteniendo la capacidad de tamponamiento del pH durante esfuerzos anaeróbicos.³²
- **Protección Neurológica:** La histidina también es vital para el mantenimiento de la vaina de mielina que recubre las células nerviosas, asegurando una transmisión eficiente del impulso nervioso al músculo.³⁴

5.3 L-Metionina (300 mg)

- **Función Metabólica:** Es un aminoácido azufrado iniciador de la síntesis proteica. Su rol más crítico en el rendimiento es ser precursor de la S-Adenosilmetionina (SAME), el donante universal de grupos metilo.
- **Producción de Creatina y Antioxidantes:** La metilación dependiente de SAME es un paso obligatorio en la síntesis endógena de **Creatina**. Además, la Metionina es precursora de la Cisteína, la cual es el paso limitante para la producción de **Glutatión**, el antioxidante endógeno más potente del cuerpo. Aportar 300 mg de Metionina apoya indirectamente la capacidad antioxidante y la regeneración de fosfocreatina.¹

5.4 L-Triptófano (150 mg) y la Interacción con BCAA

- **Función:** Precursor de la serotonina (neurotransmisor de la relajación y bienestar) y melatonina (regulación del sueño).
- **Paradoja y Sinergia:** Como se mencionó en la sección 2.3, durante el ejercicio se busca evitar la entrada masiva de Triptófano al cerebro para prevenir la fatiga. Sin embargo, en la fase de **recuperación**, la serotonina es necesaria para modular el estrés, reducir la excitabilidad neuronal y facilitar el descanso.
- **Justificación de la Dosis:** 150 mg es una dosis baja pero estratégica. No es suficiente para causar somnolencia aguda (que requeriría >1g), pero sí para reponer los niveles

basales tras el agotamiento inducido por el ejercicio. Su presencia junto a 5g de BCAA es segura: la gran cantidad de BCAA competirá y ganará el transporte durante la actividad, dejando que el Tryptófano ejerza su función reparadora y neuro-moduladora (mejorando la tolerancia al dolor y el estado de ánimo) en la fase post-ejercicio.¹⁰

6. Extracto de Remolacha (Beet Root): Óxido Nítrico y Antioxidantes

6.1 Perfil del Ingrediente

- **Ingrediente:** Extracto de Beta vulgaris.
- **Dosis:** 100 mg.

6.2 Mecanismo: La Vía Nitrato-Nitrito-NO

La remolacha es rica en nitratos inorgánicos (NO_3^-). Al ingerirse, las bacterias comensales de la lengua reducen el nitrato a nitrito (NO_2^-). En el ambiente ácido del estómago y en tejidos hipóxicos (como el músculo en ejercicio), el nitrito se reduce a Óxido Nítrico (NO). Este mecanismo es **complementario e independiente** de la vía de la Citrulina (Vía L-Arginina-NO sintasa). Mientras la Citrulina requiere oxígeno y la enzima eNOS para funcionar, los nitratos de la remolacha son especialmente efectivos en condiciones de baja oxigenación (hipoxia/anaeróbico), donde la función de la eNOS disminuye.³⁷

6.3 Análisis Crítico de la Efectividad de 100 mg

Aquí reside una debilidad potencial de la fórmula si se evalúa exclusivamente como vasodilatador.

- **Requerimiento Clínico:** Los estudios ergogénicos consistentes utilizan dosis de **300 a 600 mg de nitratos puros**.
- **Contenido en Extractos:** Un polvo de remolacha estándar contiene 1-3% de nitratos. 100 mg de polvo aportarían solo 1-3 mg de nitratos, una cantidad fisiológicamente irrelevante para la vasodilatación aguda. Incluso extractos patentados de alta potencia como *Oxystorm* (amaranto, ~9% nitratos) o *Sabeet* (~2% nitratos) aportarían solo 2-9 mg de nitratos con una dosis de 100 mg.³⁹
- **Conclusión:** La dosis de 100 mg es insuficiente para generar un efecto ergogénico notable vía Óxido Nítrico. Sin embargo, a esta dosis, el extracto funciona como una fuente de **Betalainas**, pigmentos con potente capacidad antioxidante y antiinflamatoria. Por tanto, su función en esta fórmula debe interpretarse como soporte antioxidante contra el estrés oxidativo del ejercicio, más que como un "booster" de NO primario (función que

recae en los 4g de Citrulina).³⁸

7. Inulina: Funcionalidad Tecnológica y Prebiótica

7.1 Perfil del Ingrediente

- **Ingrediente:** Inulina (Fructooligosacárido).
- **Dosis:** 319 mg.
- **Función Declarada:** Sustituto de Maltodextrina.

7.2 Análisis Funcional y Excipiente

La inclusión de 319 mg de inulina para reemplazar a la maltodextrina es una decisión de formulación "limpia" (clean label).

- **Maltodextrina vs. Inulina:** La maltodextrina es un carbohidrato de alto índice glucémico usado comúnmente como agente de carga o para mejorar la fluidez del polvo. Su sustitución por inulina elimina picos innecesarios de insulina en usuarios que buscan controlar su ingesta de carbohidratos o definir su composición corporal.³
- **Efecto Prebiótico:** La inulina es fermentada por *Bifidobacterias* en el colon. Aunque la dosis eficaz para un efecto prebiótico robusto suele ser >2.5g/día, incluso dosis pequeñas pueden contribuir a la acidificación del lumen colónico.
- **Absorción de Minerales:** Un beneficio secundario documentado de la inulina, relevante para esta fórmula, es la mejora en la absorción de **Calcio y Magnesio**. La fermentación de la inulina reduce el pH del colon, lo que aumenta la solubilidad de estos minerales y su absorción pasiva y activa, potenciando así la efectividad de los electrolitos incluidos.⁴³

8. Matriz de Electrolitos (Sodio, Potasio, Calcio, Magnesio)

La fórmula incluye una matriz equilibrada para la rehidratación:

- **Sodio (150 mg) y Potasio (150 mg):** Dosis moderadas diseñadas para reponer las pérdidas por sudor sin sobrecargar el sistema. El ratio 1:1 es adecuado para mantener el potencial de membrana y prevenir calambres.
- **Calcio (25 mg) y Magnesio (25 mg):** Dosis bajas, probablemente presentes como contra-iones o quelatos de los aminoácidos, o como cofactores mínimos para la contracción muscular (Ca) y relajación (Mg). Su absorción se ve teóricamente favorecida por la presencia de L-Lisina y la Inulina.³⁰

9. Sinergias Globales y Conclusión Científica

9.1 Tabla de Resumen de Efectividad e Interacciones

Ingrediente	Dosis	Función Primaria en la Fórmula	Evaluación de Dosis	Sinergia Clave
BCAA 2:1:1	5 g	Anti-catabolismo, Señalización mTOR	Óptima	Compite con Triptófano (Anti-Fatiga Central)
L-Glutamina	3 g	Inmunidad, Recarga Glucógeno	Efectiva (Recuperación)	Sinergia con BCAA para reducir daño muscular
L-Citrulina	4 g	Flujo sanguíneo, buffer amoníaco	Efectiva (Sostenida)	Complementa vía NO de Remolacha (aunque esta sea baja)
L-Lisina	800 mg	Reparación tisular, Carnitina	Alta	Mejora absorción de Calcio
L-Histidina	300 mg	Precursor Carnosina	Mantenimiento	Soporte buffer junto a Citrulina
L-Metionina	300 mg	Metilación, Antioxidante	Mantenimiento	Precursor Glutación/Crea

				tina
L-Tryptófano	150 mg	Regulación Serotonina	Baja/Estratégica	Modulada por BCAA para no causar fatiga intra-entreno
Remolacha	100 mg	Antioxidante (Betalaínas)	Sub-clínica para NO	Reduce estrés oxidativo junto a Metionina
Inulina	319 mg	Excipiente funcional, Absorción	Baja (Prebiótico)	Mejora biodisponibilidad de Ca/Mg

9.2 Conclusiones del Estudio

La formulación analizada es una herramienta nutricional robusta y bien diseñada, orientada principalmente a la **preservación de la masa muscular**, la **gestión de la fatiga metabólica** y la **aceleración de la recuperación**.

1. **Enfoque Anti-Catabólico y de Limpieza Metabólica:** La combinación de 5g de BCAA con 4g de Citrulina Malato y 3g de Glutamina crea un entorno fisiológico donde se minimiza la degradación proteica (BCAA), se acelera la eliminación de toxinas metabólicas como el amoníaco (Citrulina + Glutamina) y se optimiza el flujo de nutrientes al tejido dañado (Citrulina).
2. **Calidad sobre Cantidad:** La elección de materias primas fermentadas (BCAA, Glutamina, Citrulina) garantiza un producto libre de impurezas y de alta biodisponibilidad. La sustitución de maltodextrina por inulina demuestra un compromiso con la calidad funcional del producto final.
3. **Matices de Dosificación:** Mientras que los componentes principales están bien dosificados para la recuperación, el extracto de remolacha (100 mg) funciona más como un agente de soporte antioxidante que como un vasodilatador potente por sí mismo. Sin embargo, la alta dosis de Citrulina (4g) compensa sobradamente cualquier déficit en la producción de óxido nítrico, asegurando que el objetivo de vascularización se cumpla.
4. **Perfil de Aminoácidos:** Al incluir Lisina, Metionina, Histidina y Triptófano, la fórmula cubre brechas específicas de reparación (colágeno, metilación, carnosina) que los BCAA solos no pueden cubrir, haciendo de este producto un complemento superior a los BCAA

aislados convencionales.

Esta fórmula es científicamente sólida para atletas que buscan mejorar su capacidad de recuperación intra y post-entrenamiento, reducir el dolor muscular tardío (DOMS) y mantener la intensidad del esfuerzo mediante la mitigación de la fatiga central y periférica.

Referencias Clave Integradas:¹

Obras citadas

1. Benefits of Amino Acid Supplements for Your Workout Routine | Amway United States, fecha de acceso: enero 29, 2026, https://www.amway.com/en_US/discover/sports-nutrition/benefits-of-amino-acid-supplements
2. Combining Plant Proteins to Achieve Amino Acid Profiles Adapted to Various Nutritional Objectives—An Exploratory Analysis Using Linear Programming - Frontiers, fecha de acceso: enero 29, 2026, <https://www.frontiersin.org/journals/nutrition/articles/10.3389/fnut.2021.809685/full>
3. Nutritional Strategies to Improve Post-exercise Recovery and Subsequent Exercise Performance: A Narrative Review - PMC - NIH, fecha de acceso: enero 29, 2026, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12297025/>
4. Acacia, Inulin & FOS for Sports Performance | BF-EssE CMO Insights, fecha de acceso: enero 29, 2026, <https://bfesse.com/sport-nutrition-cmo/acacia-inulin-fos-prebiotic-performance>
5. (PDF) The Effect of Oral Pure Branched-Chain Amino Acid Supplementation on Exercise Performance and Body Composition: A Systematic Review - ResearchGate, fecha de acceso: enero 29, 2026, https://www.researchgate.net/publication/397229792_The_Effect_of_Oral_Pure_Branched-Chain_Amino_Acid_Supplementation_on_Exercise_Performance_and_Body_Composition_A_Systematic_Review
6. SPORT CATALOG - catalog.activlab.pl, fecha de acceso: enero 29, 2026, https://catalog.activlab.pl/B2B/CATALOG_ACTIVLAB_SPORT.pdf
7. The effects of branched-chain amino acids on muscle protein synthesis, muscle protein breakdown and associated molecular signalling responses in humans: an update | Nutrition Research Reviews - Cambridge University Press & Assessment, fecha de acceso: enero 29, 2026, <https://www.cambridge.org/core/journals/nutrition-research-reviews/article/effects-of-branchedchain-amino-acids-on-muscle-protein-synthesis-muscle-protein-breakdown-and-associated-molecular-signalling-responses-in-humans-an-update/9912227DD5144B0F7EB06260029520D7>

8. Branched-Chain Amino Acids Combined with Exercise Improves Physical Function and Quality of Life in Older Adults: Results from a Pilot Randomized Controlled Trial - MDPI, fecha de acceso: enero 29, 2026, <https://www.mdpi.com/2674-0311/4/3/32>
9. The Effect of Oral Pure Branched-Chain Amino Acid Supplementation on Exercise Performance and Body Composition: A Systematic Review - PubMed Central, fecha de acceso: enero 29, 2026, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12674588/>
10. The effect of acute branched-chain amino acids ingestion on rate of force development in different time intervals: a controlled crossover study - Frontiers, fecha de acceso: enero 29, 2026, <https://www.frontiersin.org/journals/nutrition/articles/10.3389/fnut.2024.1463202/full>
11. Ingestion of branched-chain amino acids and tryptophan during sustained exercise in man: failure to affect performance - PMC - NIH, fecha de acceso: enero 29, 2026, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC1156566/>
12. A role for branched-chain amino acids in reducing central fatigue - PubMed, fecha de acceso: enero 29, 2026, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16424144/>
13. OstroVit - HP Nutrition, fecha de acceso: enero 29, 2026, https://www.hpnutrition.ie/index.php?route=product/manufacturer/info&manufacturer_id=157
14. How Amino Acids are Made - Ajinomoto Group, fecha de acceso: enero 29, 2026, <https://www.ajinomoto.com/amino-acids/how-amino-acids-are-made>
15. Fermentation: The Natural Way to Produce Amino Acids - BOC Sciences, fecha de acceso: enero 29, 2026, <https://aapep.bocsci.com/resources/fermentation-the-natural-way-to-produce-amino-acids.html>
16. L-glutamine supplementation: effects on recovery from exercise - LSU Scholarly Repository, fecha de acceso: enero 29, 2026, https://repository.lsu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=4782&context=gradschool_theses
17. Glutamine for athletes: improve performance and recovery - NDL Pro-Health, fecha de acceso: enero 29, 2026, <https://ndlprohealth.com/en-us/blogs/tips/glutamine-for-athletes>
18. Supplementation of L-glutamine enhanced mucosal immunity and improved hormonal status of combat-sport athletes - PubMed Central, fecha de acceso: enero 29, 2026, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10783826/>
19. L-Glutamine is better for treatment than prevention in exhaustive exercise - PMC - NIH, fecha de acceso: enero 29, 2026, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10175630/>
20. Effect of Glutamine Supplementation on Muscular Damage Biomarkers in Professional Basketball Players - MDPI, fecha de acceso: enero 29, 2026, <https://www.mdpi.com/2072-6643/13/6/2073>
21. (PDF) L-Glutamine is better for treatment than prevention in exhaustive exercise, fecha de acceso: enero 29, 2026,

- <https://www.researchgate.net/publication/370802420> L-
Glutamine is better for treatment than prevention in exhaustive exercise
22. Is L-Glutamine Fermented? (How We Make Gut L-Glutamine) - Essential Stacks, fecha de acceso: enero 29, 2026, <https://essentialstacks.com/blogs/gut-health/is-l-glutamine-fermented>
 23. Effect of citrulline on post-exercise rating of perceived exertion, muscle soreness, and blood lactate levels: A systematic review and meta-analysis - NIH, fecha de acceso: enero 29, 2026, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7749242/>
 24. Are Citrulline Malate Supplements Beneficial For Strength Performance? - InsideTracker, fecha de acceso: enero 29, 2026, <https://www.insidetracker.com/a/articles/citrulline-malate-supplements-exercise-performance>
 25. A critical review of citrulline malate supplementation and exercise performance - PMC - NIH, fecha de acceso: enero 29, 2026, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8571142/>
 26. Effects of Supplemental Citrulline Malate Ingestion During Repeated Bouts of Lower-body Exercise in Advanced Weight Lifters - ResearchGate, fecha de acceso: enero 29, 2026, <https://www.researchgate.net/publication/265691978> Effects of Supplemental Citrulline Malate Ingestion During Repeated Bouts of Lower-body Exercise in Advanced Weight Lifters
 27. fecha de acceso: enero 29, 2026, <https://aaep.bocsci.com/resources/citrulline-definition-structure-benefits-sources-and-uses.html#:~:text=Commercial%20production%20often%20involves%20fermentation,D%20citrulline%20for%20different%20applications.>
 28. CN103172542A - Method for separating and purifying L-citrulline - Google Patents, fecha de acceso: enero 29, 2026, <https://patents.google.com/patent/CN103172542A/en>
 29. Lysine Benefits, Food Sources, and Supplement Guide, fecha de acceso: enero 29, 2026, <https://coopercomplete.com/blog/lysine-benefits-should-you-take-lysine/>
 30. What is Lysine? Benefits and Side Effects - Vinmec, fecha de acceso: enero 29, 2026, <https://www.vinmec.com/eng/blog/what-is-lysine-benefits-and-side-effects-en>
 31. L-lysine dietary supplementation for childhood and adolescent growth: Promises and precautions - PMC - NIH, fecha de acceso: enero 29, 2026, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11976420/>
 32. Amino acids regulating skeletal muscle metabolism: mechanisms of action, physical training dosage recommendations and adverse effects, fecha de acceso: enero 29, 2026, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11220999/>
 33. Exercise alters and β -alanine combined with exercise augments histidyl dipeptide levels and scavenges lipid peroxidation products in human skeletal muscle | Journal of Applied Physiology, fecha de acceso: enero 29, 2026, <https://journals.physiology.org/doi/full/10.1152/jappphysiol.00007.2018>

34. Histidine: A Systematic Review on Metabolism and Physiological Effects in Human and Different Animal Species - Semantic Scholar, fecha de acceso: enero 29, 2026, <https://pdfs.semanticscholar.org/10dc/acec7bba5e4c512e79c046d4a5d25c8553c6.pdf>
35. Amino Acid: Benefits & Food Sources - Cleveland Clinic, fecha de acceso: enero 29, 2026, <https://my.clevelandclinic.org/health/articles/22243-amino-acids>
36. L-tryptophan supplementation can decrease fatigue perception during an aerobic exercise with supramaximal intercalated anaerobic bouts in young healthy men - PubMed, fecha de acceso: enero 29, 2026, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20402569/>
37. Combined Effects of Citrulline Plus Nitrate-Rich Beetroot Extract Co-Supplementation on Maximal and Endurance-Strength and Aerobic Power in Trained Male Triathletes: A Randomized Double-Blind, Placebo-Controlled Trial - PMC - NIH, fecha de acceso: enero 29, 2026, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8746866/>
38. The Potential Benefits of Red Beetroot Supplementation in Health and Disease - PMC, fecha de acceso: enero 29, 2026, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4425174/>
39. Sabeet (Beetroot) - BECARRE Natural, fecha de acceso: enero 29, 2026, <https://www.becarre-natural.com/product/273/Sabeet-Beetroot>
40. Oxystorm - Red Spinach [Amaranthus hypochondriacus] leaf 9% Nitrates [HPLC] powder extract - Vita Actives, fecha de acceso: enero 29, 2026, <https://vitaactives.com/oxystorm-red-spinach-amaranthus-hypochondriacus-leaf-9-nitrates-hplc-powder-extract>
41. What Is in Your Beet Juice? Nitrate and Nitrite Content of Beet Juice Products Marketed to Athletes - NIH, fecha de acceso: enero 29, 2026, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8512783/>
42. Maltodextrin—The Superior Carbohydrate for Endurance Athletes | Hammer Nutrition, fecha de acceso: enero 29, 2026, <https://hammernutrition.com/blogs/endurance-news-weekly/maltodextrin-the-superior-carbohydrate-for-endurance-athletes>
43. Review of the Scientific Evidence on the Physiological Effects of Certain Non-Digestible Carbohydrates | FDA, fecha de acceso: enero 29, 2026, <https://www.fda.gov/files/food/published/Review-of-the-Scientific-Evidence-on-the-Physiological-Effects-of-Certain-Non-Digestible-Carbohydrates-PDF.pdf>
44. The Prebiotic Potential of Inulin-Type Fructans: A Systematic Review - PMC - NIH, fecha de acceso: enero 29, 2026, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8970830/>
45. Functional and therapeutic potential of inulin: A comprehensive review, fecha de acceso: enero 29, 2026, <https://college.agrilife.org/talcottlab/wp-content/uploads/sites/108/2019/01/Inulins.pdf>