

# SUPLEMENTACIÓN CON BETA-ALANINA Y SU EFECTO SOBRE EL AUMENTO DEL RENDIMIENTO DEPORTIVO CON APLICACIÓN ESPECÍFICA AL FÚTBOL

## Trabajo Fin de Grado

*Curso 2014/2015 (1ª Convocatoria)*

Autor: Baraia-Etxaburu Gómez, Aitor

Tutor: Orbañanos Palacios, Javier

## ÍNDICE

<b>1. Suplementación de B-Alanina y sus efectos sobre el rendimiento deportivo .....</b>	<b>6</b>
1.1. Qué es la beta alanina? .....	6
1.2. Justificación de la necesidad de una ingesta exógena de B-alanina: .....	9
1.3. Protocolos de administración y efectos secundarios:.....	9
1.4. Efectos sobre el rendimiento deportivo:.....	11
<b>2. Efectos específicos de la suplementación con B-alanina en el fútbol .....</b>	<b>18</b>
2.1. Demandas fisiológicas específicas del fútbol: .....	18
2.2. Mecanismos de producción de fatiga: .....	24
2.3. Justificación de la ingesta de B-alanina como posible aumento del rendimiento: 26	
2.4. Estudios específicos de la suplementación con B-Alanina en el fútbol: .....	27
<b>3. Conclusiones:.....</b>	<b>29</b>
<b>4. Posibles vías de investigación:.....</b>	<b>30</b>

**Abstract:**

Hoy en día y con el objetivo de conseguir el mayor rendimiento posible en la mayoría de los deportes profesionales, la suplementación deportiva está adquiriendo un protagonismo vital, siendo conscientes de que la suplementación deportiva por sí sola no sea el principal factor responsable del aumento del rendimiento deportivo. Sin embargo, ha quedado demostrado que estos suplementos pueden ayudar a dar el salto de calidad en deportistas profesionales y últimamente salen a la luz investigaciones de nuevos suplementos que empiezan a ser habituales en algunos deportistas, como es el caso de la Beta-Alanina. El principal efecto de la ingesta exógena de b-alanina en el organismo radica en el aumento de la carnosina muscular debido a su rol como factor limitante en la síntesis de la misma, un dipéptido citoplasmático que tiene la capacidad de secuestrar los protones inducidos por el ejercicio de alta intensidad, retrasando la disminución del pH intramuscular y en consecuencia, retrasando la fatiga. La mayoría de los estudios hasta el momento que han investigado el efecto de la b-alanina y el rendimiento deportivo se centran en los deportes cíclicos, especialmente en aquellos deportes anaeróbicos donde la disminución del pH es limitante del rendimiento deportivo. Por ello, mediante una revisión bibliográfica el objetivo de este artículo será identificar y resumir los efectos principales de la suplementación exógena de Beta-alanina relacionados con el aumento del rendimiento deportivo y complementariamente, se realizará también un análisis sobre los factores fisiológicos del fútbol con el fin de conocer si este suplemento podría aumentar el rendimiento en los futbolistas de alto nivel.

## **Diseño metodológico de la revisión bibliográfica**

Se trata de un estudio descriptivo sobre los posibles efectos beneficiosos que pudiera tener la suplementación con  $\beta$ -alanina sobre el rendimiento deportivo y específicamente sobre el fútbol.

La estrategia de búsqueda de información que se utilizó fue una búsqueda sistemática por Internet en: - PubMed. Publicaciones internacionales gratuitas sobre ciencias del ejercicio y el deporte (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>). - Revista digital. Buenos Aires. (<http://www.efdeportes.com>).

La búsqueda bibliográfica englobó artículos mayormente publicados en inglés o español como idioma a pesar de trabajar con artículos en otros idiomas, en unas fechas comprendidas entre el día 1 de enero de 1963 hasta el 31 de diciembre de 2014. Las palabras clave empleadas coincidían con términos incluidos en el Thesaurus Medical Subject Headings (MeSH) desarrollado por la U.S. National Library of Medicine. Las palabras clave y la estrategia de búsqueda empleada fue “Beta alanine AND supplementation AND (exercise OR strength OR resistance OR endurance OR performance OR Soccer)”.

El diseño metodológico con que fue realizada la presente investigación, denominada revisión bibliográfica, la cual es selectiva y crítica, trata de analizar e integrar la información esencial de los estudios científicos de investigación hasta el momento relacionado con el rendimiento deportivo, la suplementación deportiva y especialmente la suplementación de B-Alanina. La revisión se basó fundamentalmente en criterios determinados por la estrategia de búsqueda de la información y posterior selección. La metodología que se utilizó fue la determinación de la calidad de la información obtenida.

### *Selección de artículos relevantes:*

De los 95 artículos que respondían a los criterios de la búsqueda, se leyeron todos los resúmenes y se aplicaron unos criterios de inclusión/exclusión. Los criterios de exclusión propuestos fueron los siguientes:

- Artículos en los que no se siguió un protocolo de suplementación con  $\beta$ -alanina.

- Artículos que no incluyesen una intervención de ejercicio físico junto con la suplementación.
- Artículos que no midiesen ninguna variable relacionada con el rendimiento deportivo.
- Artículos previos al año 1963.

De los artículos analizados se leyeron todos aquellos artículos que no cumplían los criterios de exclusión anteriormente seleccionados y que relacionaban la suplementación de la B-alanina y el rendimiento deportivo, incidiendo sobre parámetros fisiológicos concretos que sirvieron como criterio de inclusión. Los criterios de inclusión fueron los siguientes:

- Artículos que relacionaban la suplementación de B-alanina con el rendimiento deportivo.
- Artículos que analizaban el efecto de la suplementación de B-alanina sobre parámetros fisiológicos (umbral anaeróbico, lactato en sangre, niveles de carnosina muscular, pH sanguíneo, Vo2max)
- Artículos que relacionaban el efecto de la B-alanina sobre parámetros corporales como el IMC, Densidad corporal, hormonas (Testosterona, Cortsol, GH) y porcentaje de grasa corporal.

*Determinación de la calidad de la información:*

Finalmente, de los 35 artículos que cumplían los criterios de inclusión exigidos para formar parte del estudio, se utilizaron 25, al no tener acceso al texto completo de las otras 10 referencias.

# 1. Suplementación de B-Alanina y sus efectos sobre el rendimiento deportivo

## 1.1. Qué es la beta alanina?

La beta Alanina es un aminoácido no proteico que se sintetiza en el hígado como metabolito final de la degradación del uracilo y de la timina (Abe, 2010). Este aminoácido puede ingerirse a través de la dieta (en fuentes de origen animal) o mediante suplementos (Artioli, Gualano, Smith, Stout & Lancha, 2010). El potencial para aumentar el rendimiento y el motivo de su suplementación exógena radica principalmente en su efecto sobre el aumento de la carnosina muscular (Harris et al., 2006; Hill et al., 2007; Derave et al., 2007; Kendrick et al., 2008) debido a su rol como factor limitante en la síntesis de la carnosina.

La carnosina es un dipéptido citoplasmático, compuesto por los aminoácidos B-Alanina y L-Histidina que se encuentra en cantidades altas en el músculo esquelético, siendo la enzima carnosina sintetasa la encargada de mediar en los procesos de síntesis (Culbertson, Kreider, Greenwood & Cooke, 2010). Debido a su pKa (6,83) constituye un importante sistema buffer físico-químico no asociado al bicarbonato para el rango del pH intramuscular durante el ejercicio (Bate-Smith, 1938). Comparado con la capacidad del bicarbonato para secuestrar los protones, la carnosina en virtud de un pKa de 6,83 y de su elevada concentración en el músculo es más efectiva para secuestrar protones que el bicarbonato (pKa=6,37) y que el fosfato inorgánico (pKa=7,2), los otros dos sistemas buffer físico-químicos más importantes a lo largo del rango de pH fisiológico (Abe, 2000; Bate-Smith, 1938). Sin embargo, en el músculo debido a que la concentración de carnosina es mayor que el bicarbonato en las fases iniciales de la contracción muscular, y que el fosfato inorgánico, su contribución como buffer puede ser cuantitativamente más importante. En consecuencia niveles altos de carnosina retrasan la aparición de la fatiga (acidosis) retrasando la disminución del pH, que ha sido señalada como uno de los factores importantes de la aparición de fatiga y de la disminución contráctil del músculo.

La suplementación con B-alanina esta englobada dentro del grupo B, según la clasificación que realiza el instituto australiano de deporte en cuanto al grado de efectividad y seguridad de los suplementos deportivos (Domínguez, Lougedo, Maté-

Muñoz & Garnacho-Castaño, 2014). El número de estudios y el aumento en la utilización de dicho suplemento cobran cada día una mayor importancia, debido a la posible influencia de la carnosina sobre distintas funciones fisiológicas.

El papel de la carnosina en el retraso de la producción de fatiga muscular:

El ejercicio de alta intensidad, produce una disminución de las reservas de ATP, PCr, sustratos glucogénicos y una acumulación de metabolitos dentro de la propia célula muscular (como pueden ser el ADP, fosfato inorgánico, iones de hidrógeno y magnesio), que son señalados como causantes de la fatiga muscular en este tipo de ejercicios (Robergs, Ghiasvand & Parker, 2004; Allen, Lamb & Westerblad, 2008). Específicamente y en relación con la acidosis, la excesiva concentración de iones de hidrógeno provoca una disminución del pH intramuscular, favoreciendo la aparición de la fatiga debido a la acidosis (Robergs et al., 2004; Messonnier, Kristensen, Juel & Denis, 2007; Hill et al., 2007).

El aumento en la capacidad de un deportista para taponar los protones, puede retrasar la fatiga a través de la optimización del uso de los sustratos energéticos (ácidos grasos y glucógeno) y del sostenimiento de la contracción muscular (Hill et al., 2007; Abe, 2000; Zuzuky et al., 2006). Cuando el tiempo y el nivel de intensidad del ejercicio son suficientes, la mayoría de los protones que se producen son procesados por el sistema de taponamiento (Buffer) del bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) mediante el cual se extraen del músculo (Beaver, Wasserman & Whipp, 1986; Juel et al., 2004; Juel, 2008). La amortiguación fisiológica de protones durante el ejercicio dinámico habitualmente está controlada por el sistema buffer del  $\text{HCO}_3^-$  y también por el sistema buffer físico-químico directo, a través del fosfato, los residuos de histidina de los péptidos y proteínas, y de la pequeña cantidad de bicarbonato presente en el músculo en el comienzo del ejercicio. Sin embargo, durante las series cortas de ejercicio de alta intensidad, el sistema buffer físico-químico excederá al sistema dinámico mediado por el  $\text{HCO}_3^-$ , recurriendo a las reservas intramusculares de fosfatos y péptidos.

Debido a que la carnosina es sintetizada en el músculo a partir de sus dos constituyentes, la beta alanina y la histidina (Bakardjiev & Bauer, 1994), la síntesis de carnosina está limitada por la disponibilidad de la beta alanina (Harris et al., 2006; Dunnett, Harris, Soliman & Suwar, 1997). Se ha observado que la suplementación con beta alanina sola, aumenta significativamente el nivel de carnosina intramuscular (Hill et al., 2007; Harris et al., 2006). De hecho, una suplementación de beta alanina con

6,4 g.d-1 aumenta los niveles de carnosina muscular un 60% (Hill et al., 2007; Dunnett & Harris, 1999).

En humanos, la concentración de carnosina en el músculo esquelético seco es de 5-8 mmol/L, cantidad comparable con las reservas de ATP, carnitina o taurina y menor que la fosfocreatina (Derave, Everaert, Beeckman & Baguet, 2010). Además, la carnosina es el único dipeptido que contiene Histidina (HCD) encontrado en el músculo humano.

Las principales funciones del metabolismo de la carnosina constan de la síntesis e hidrólisis respectivamente de sus dos aminoácidos (Baumann & Ingvaldsen, 1918). En la literatura se encuentran varias evidencias que demuestran que el metabolismo de la carnosina aumenta la actividad contráctil del músculo, mejorando su rendimiento. De hecho, Nagai et al. (2003) observaron niveles elevados de carnosina muscular en animales durante un ejercicio y Nordsborg et al. (2003) también encontraron valores elevados en humanos durante una extensión de cuádriceps a 20 W. A pesar de que algunas investigaciones crean que la liberación de carnosina en el músculo esquelético es una evidencia del daño muscular (Nordsborg et al., 2003; Dunnett, Harris, Dunnet & Harris, 2002; Gutierrez, Anderstam & Alvestrand, 1999), Nagai et al. (2003) proponen que esa liberación de carnosina en el músculo esquelético es un proceso regulado. El hecho de que la acumulación de protones (acidosis) pueda estimular el transportador de protones PEPT2, puede ser la razón por la cual la carnosina es secretada en el músculo esquelético durante el ejercicio en comparación con reposo (Derave et al., 2010). Además, esa liberación por parte del músculo esquelético de carnosina podría tener una función endocrina debido al efecto vasodilatador (Ririe, Roberts, Shouse & Zaloga, 2000) y vasoconstrictor (O`Dowd, O`Dowd & Miller, 1996) que tiene. Además, la carnosina también parece modular el sistema nervioso parasimpático además de influir en control autónomo del páncreas (Nagai et al., 2003), riñones (Norborg et al., 2003), tejido adiposo (Shen, Yao, Tanida & Nagai, 2008) y presión sanguínea (Tanida et al., 2005). Resumiendo, las concentraciones de carnosina muscular en el músculo esquelético son elevas. Parece que estos niveles de carnosina y su liberación repercuten en dos funciones importantes: Mantenimiento de la homeostasis en otros órganos y la ayuda en el mantenimiento de la homeostasis local en las células musculares durante la contracción muscular.

### **1.2. Justificación de la necesidad de una ingesta exógena de B-alanina:**

El organismo no tiene la capacidad de absorber directamente carnosina desde el propio torrente sanguíneo (Matthews & Traut, 1987) y dado que las concentraciones de  $\beta$ -alanina en el músculo son relativamente pequeñas en comparación con las de histidina y de la carnosina sintetasa (Hoffman, Emerson & Stout, 2012; Skaper, Das & Marshall, 1973) y que la síntesis endógena de  $\beta$ -alanina se limita a una pequeña producción en un grupo de células hepáticas (Matthews & Traut, 1987), se ha propuesto que la síntesis de carnosina en el músculo esquelético viene limitada por la disponibilidad de  $\beta$ -alanina de la dieta (Sale, Saunders & Harris, 2010; Sterlingwerff, Decombaz, Harris & Boesch, 2012).

### **1.3. Protocolos de administración y efectos secundarios:**

Los estudios y las investigaciones actuales sobre la cantidad de la dosis de B-Alanina recomendada para conseguir aumentos significativos de carnosina muscular giran en torno al rango de 1,6-6,4 gramos diarios durante 28 días (Harris et al., 2009; Hill et al., 2007). Según estas investigaciones en este rango se ha demostrado que este aminoácido parece incrementar las concentraciones de carnosina intramuscular. Por ejemplo, una suplementación de 3,2 y 6,4 gramos de B-Alanina por día durante 28 días aumenta la concentración de carnosina intramuscular en el vasto lateral del cuádriceps en un 42 y 61% respectivamente (Harris et al., 2009; Hill et al., 2007). Con ello, se estima que la capacidad total del músculo de taponamiento habría sido incrementada de un 9 a un 14%. Más específicamente sobre las fibras musculares, este aumento de concentración de carnosina incrementaría la capacidad de taponamiento desde 6,4 a un 11,2% en las fibras tipo I y desde 10 a un 18% en las fibras tipo II. La duración de la dosis de B-Alanina a lo largo del tiempo también es un factor importante a tener en cuenta a la hora de incrementar los niveles de carnosina intramuscular. En hombres activos se encontró un aumento del 58 y 80% en 4 y 10 semanas de suplementación respectivamente.

La determinación de la cantidad de dosis administrada ha sido también investigada. Esta cantidad de dosis depende en gran medida de los efectos secundarios que puede acarrear la toma de este suplemento, entre los que se encuentran el picor, irritación y enrojecimiento de la piel entre los más importantes, a pesar de que parece desaparecer transcurrida una hora de la ingesta del suplemento

(Harris et al., 2006). Esto lo corroboraron posteriormente Harris et al. (2009) quienes encontraron que una suplementación de 3,2 g/día conducía sensaciones de picor e irrigación en el cuero cabelludo, parte superior de la espalda y zona lumbar. En dosis inferiores estos síntomas han sido también detectados, aunque únicamente por el 25% de los participantes. Ha quedado demostrado que este tipo de síntomas leves aparecen en el organismo en dosis a partir de 10 mg/kg (Harris et al., 2006).

Este efecto de irrigación de la Beta-Alanina es debido a la liberación de la histidina en la formación de la carnosina (Wilson, Wilson, Zourdos, Smith & Stout, 2010). Esta es una respuesta similar a la liberación de Histaminas en una reacción alérgica. A pesar de que esta reacción no es tóxica y no afecta a todo el mundo, es incómoda. Por esta razón, los investigadores han administrado la dosis diaria dividida en diferentes tomas a lo largo del día (cada 3 horas) y en cantidades pequeñas (0,8 gramos) hasta conseguir ingerir la dosis considerada (Harris et al., 2007; Harris et al., 2009; Hill et al., 2007). Este espacio de tiempo entre tomas (3 horas) ha sido determinado debido a que la B-Alanina vuelve a los niveles iniciales después de ese tiempo. Más recientemente, se realizó un estudio controlado de administración de 1,6 gramos de B-Alanina 4 veces al día durante 4 semanas con el objetivo de reducir estos síntomas de picor e irrigación, sin encontrar finalmente síntomas al final del estudio (Zoeller, Stout, O'kroy, Torok & Mielke, 2007). Además, este protocolo de ingesta cada 3 horas parece tener un impacto más positivo sobre la retención de B-Alanina utilizable para la síntesis de Carnosina, al disminuir la eliminación por vía urinaria de dicho compuesto (Harris, Jones, Kim, Kim, Price & Wise, 2009)

En resumen, si bien las investigaciones contrastan un aumento significativo de los niveles de carnosina intramuscular en dosis de 1,6-6,4 gramos por día durante 28 días de suplementación con B-alanina, debido a los efectos secundarios de irrigación y picor se recomienda la división de la dosis diaria limitada a 0,8 gramos ingerida cada 3 horas, hasta llegar a ingerir la dosis deseada. Este tipo de dosis han demostrado ser eficaces sin producir efectos adversos (Decombaz, Beaumont, Vuichoud, Bouisset, Enslin & Stellingwerff, 2011) y en términos generales, la suplementación con B-alanina se considera una práctica segura (Artioli, Gualano, Smith, Stout & Lancha, 2010).

#### **1.4. Efectos sobre el rendimiento deportivo:**

Para conocer el posible efecto de la B-Alanina sobre el rendimiento deportivo, debemos tener en cuenta las características fisiológicas individuales del tipo de ejercicio concreto que se está realizando. El uso de la B-Alanina como suplemento deportivo radica en su capacidad para aumentar las concentraciones de carnosina intramusculares, siendo la acidosis muscular la responsable de la fatiga durante el ejercicio de gran intensidad. Esta elevación de los niveles de carnosina podría teóricamente retrasar la disminución del pH, retrasando la acidosis y en consecuencia la fatiga (Harris et al., 2006). Sin embargo, la eficacia de este suplemento deportivo podría ser mayor o menor en base a las características fisiológicas de cada deporte o prueba.

##### ***1.4.1. Suplementación de B-alanina para las modalidades deportivas de máxima intensidad y corta duración:***

Entendemos las modalidades deportivas de muy corta duración a aquellas que se ejecutan a una intensidad máxima y con una duración próxima y/o inferior a los 10 segundos (Mesa, Ruiz, González-Gross, Sáinz & Garzón, 2002), donde predomina el metabolismo anaeróbico aláctico. En este tipo de modalidades deportivas, los sustratos energéticos para satisfacer las necesidades de energía de dicho metabolismo son las concentraciones intramusculares de ATP y la fosfocreatina (Pcr). Debido a que estas concentraciones intramusculares de ATP son muy escasas (5-6 mmol/g de fibra muscular), la principal vía energética será la capacidad de resintetizar ATP a través de la fosfocreatina (Mesa, Ruiz, González-Gross, Sáinz & Garzón, 2002; Margaria, Cerretelli, Massari & Torelli, 1963), siendo un factor limitante la acción enzimática de la creatinkinasa (González, García & Herrero, 2003). Se estima que el tiempo que tardan en agotarse las reservas de fosfocreatina oscila entre los 10 y 30 segundos (Dorado, Sanchís & López-Calbet, 1997). Desde el punto de vista energético, el tipo de fibras musculares tendrá una implicación directa, debido a que el contenido de creatina en las fibras musculares tipo II es superior al de las fibras tipo I (Morán, 2006). Y en cuanto a la fatiga, ésta se ha relacionado con la disminución de las reservas de fosfocreatina (Skare, Skadberg & Wisnes, 2001), **no siendo la disminución del pH un factor limitante del rendimiento en este tipo de modalidades** (Ducker, Dawson & Wallman, 2013).

Debido a que el factor potenciador del rendimiento de la B-alanina radica en un retraso en la disminución del pH (acidosis), podríamos no considerar dicha suplementación como relevante en este tipo de ejercicios. No obstante, aunque no fuese de manera directa, la suplementación con  $\beta$ -alanina podría mejorar el rendimiento de manera indirecta, ya que diversos estudios han demostrado la importancia de la regulación intracelular del pH en los esfuerzos supramaximales (Messonnier, Kristensen, Juel & Denis, 2007), probablemente debido a un efecto indirecto de la acumulación de protones sobre la función contráctil del músculo. De hecho, diversos estudios han determinado la importancia de la cantidad de carnosina muscular para el rendimiento en esfuerzos de alta intensidad, tanto dinámicos como isométricos (Hill et al., 2007; Stout et al., 2007; Suzuki, Ito, Mukai, Takahashi & Takamatsu, 2002). Entre ellos Suzuki & Cols. (2002) observaron una posible correlación positiva entre el contenido de carnosina del vasto lateral del cuádriceps y la potencia generada al final del test Wingate (30 segundos) en cicloergómetro en hombres no entrenados. Por su parte, Hill et al. (Hill et al., 2007) mediante una suplementación de B-Alanina durante 10 semanas con hombres no entrenados, encontraron mejoras no solo en el aumento de la concentración de carnosina muscular en el vasto lateral del cuádriceps, sino también en el aumento del tiempo hasta el agotamiento en un test de ciclismo realizado al 110% de los W máximos.

En combinación con otros suplementos como la creatina, ambos suplementos en un periodo de 10 semanas (a una dosis de 3,2 g/d de B-Alanina + 10,5 g/d de creatina), podrían mejorar el rendimiento de estas modalidades incrementando el volumen e intensidad de entrenamiento de fuerza realizado, así como la intensidad del mismo, traduciéndose en mejoras sobre los niveles de masa muscular y disminución de masa magra (Smith et al., 2009). Además, la suplementación con B-Alanina + creatina también parece mejorar el rendimiento en términos de aumento de fuerza en una repetición máxima en ejercicios de sentadilla y press de banca (Hoffman et al., 2006).

A modo de resumen, a pesar de que el pH intramuscular parece ser el factor limitante del rendimiento en este tipo de esfuerzos, con el objetivo de poder entrenar con una mayor intensidad, podríamos considerar ante la escasez de datos, que la suplementación con B-alanina podría ejercer una posible mejora del rendimiento. También, cabría considerar un efecto positivo en este tipo de esfuerzos en

condiciones en las que previamente haya habido una disminución brusca del pH (Bex et al., 2014).

#### **1.4.2. Suplementación de B-alanina para las modalidades deportivas de media duración y alta intensidad:**

Consideramos modalidades deportivas de alta intensidad aquellas modalidades que presentan una duración comprendida entre los 30 segundos y 5 minutos, las cuales se caracterizan por la glucólisis anaeróbica como la principal fuente energética (Hobson, Saunders, Ball, Harris & Sale, 2014). El empleo de esta vía metabólica, si bien tiene la ventaja de ser una fuente de rápida provisión de energía (Domínguez, 2012), se caracteriza por llevar consigo una acumulación de iones hidrógeno ( $H^+$ ) que dará lugar a una disminución del pH intramuscular (Wallimann, Tokarska-Schlattner & Schlattner, 2011). Dicha acumulación de  $H^+$  será mayor a medida que incremente la contribución del metabolismo anaeróbico láctico, debido a que cuando los requerimientos de energía de musculo (ya sea por intensidad o duración del esfuerzo) superan la capacidad del suministro a través del metabolismo aeróbico, el organismo recurre a la glucólisis anaeróbica como fuente productora de energía (Wilmore & Costill, 2004). En consecuencia de esta glucólisis anaeróbica, se formará como producto final ácido láctico, que si no es eliminado se disociará, convirtiéndose en lactato y con ello produciendo una acumulación de iones de hidrogeno. Esta acumulación de iones es el factor clave de la acidosis muscular mediante la cual se produce una disminución del pH en los músculos que se ejercitan (Costill, Verstapen, Kuipers, Janssen & Fink, 1984; Wilmore & Costill, 2004; Linderman & Gosselink, 1994), debilitando la contracción muscular y producción de energía (Linderman & Gosselink, 1994; Águila, 1999).

Observándose en estos ejercicios de alta intensidad, los valores de pH más bajos se encontrarán en aquellas modalidades con una duración no superior de 4 minutos (Osnes & Hermansen, 1972). A nivel intracelular, la acumulación de  $H^+$  irá acompañado de una inhibición de la fosfofructoquinasa, lo cual afecta a la capacidad de resíntesis de fosfocreatina (Harris, Edwards, Hultman, Nordesjö, Ny Lind & Sahlin, 1976; Sahlin & Harris, 2011), una inhibición de la glucólisis (Trivedi & Danforth, 1966), que disminuirá la tasa glucolítica, y un efecto negativo sobre la contracción muscular (Donaldson, Hermansen & Bolles, 1978; Fabiato & Fabiato, 1978) al alterar la captación y recaptación de calcio por parte del retículo sarcoplasmático (Hobson,

Saunders, Ball, Harris & Sale, 2014; Sahlin & Harris, 2011; Green, 1987). Es por ello que queda resaltada la importancia de la adquisición de todas aquellas medidas encaminadas a prevenir situaciones de acidosis extremas, ya que pueden ser beneficiosas para disminuir los síntomas de fatiga que caracterizan a dicha situación de inestabilidad metabólica (De Salles Painelli et al., 2013; Tobias et al., 2013). En consecuencia, en este sentido la suplementación con B-Alanina puede tener una gran importancia dado que se ha cuantificado que la contribución de la carnosina muscular sobre la capacidad tampón o de amortiguamiento sobre la acidosis oscila entre un 7% (Smith et al., 2009) y un 10% (Harris et al., 2006), pudiendo llegar a suponer hasta un 15-25% tras seguir un protocolo de suplementación (Harris et al., 2006).

En este contexto, se ha observado que un período de suplementación con B-Alanina de 5 semanas de duración con un protocolo de suplementación en rampa (comenzando en 3,2 g/d y finalizando en 6,4 g/d) fue efectivo para producir mejoras significativas en un grupo de nadadores altamente entrenados en la prueba de 200 m estilo libre, al tiempo que mostró una tendencia a la mejora en los 100 m estilo libre (De Sailles Painelli et al., 2013). Las mejoras más evidentes en la prueba del 200 m con respecto a la de 100 m podría deberse a la mayor importancia de los mecanismos buffer, si bien, no debemos de obviar que el efecto de la suplementación podría haberse debido a mejoras de la contractilidad muscular como resultado de la suplementación, tal y como han observado Dutka & cols. (Dutka, Lamboley, McKenna, Murphy & Lamb, 2012).

No obstante, una serie de estudios no han observado mejoras tras seguir un protocolo de suplementación con  $\beta$ -alanina. Así, Smith-Ryan & Cols (Smith-Ryan, Fukuda, Stout & Kendall, 2012), a pesar de encontrar una mejora significativa en el tiempo hasta el agotamiento a una carga constante relativa al 110% del consumo máximo de oxígeno ( $VO_{2m\acute{a}x}$ ), no llegaron a registrar cambios con respecto al grupo placebo, que también mejoró tras finalizar el período de intervención (4 semanas). Posteriormente, ante una prueba de las mismas características, pero esta vez a intensidades del 115% y 140% del  $VO_{2m\acute{a}x}$ , tampoco se pudo demostrar mejora alguna tras seguir un protocolo de suplementación con B-Alanina (Jagim, Wright, Brice & Doberstein, 2013). A este respecto, podríamos decir que en estos estudios la dosis de suplementación de B-alanina que se utilizó fue de 4 y 4,8 g/diarios respectivamente, la cual difiere de las dosis de 6,4 g/diarios observadas en los estudios anteriormente citados que presentaron efectos beneficiosos.

El estudio llevado a cabo por de Salles & Cols (De Sailles Painelli et al., 2013) empleó un test de rendimiento en una población de nadadores altamente entrenados, consiguiendo resultados positivos en los tiempos de los test. En un estudio posterior intentó cuantificar el efecto de un protocolo de suplementación con B-Alanina relacionado con el rendimiento en competición en un grupo de nadadores de nivel internacional (Chung et al., 2012). En dicho estudio, las mejoras observadas previamente mediante test en nadadores gracias a la suplementación con B-Alanina (Dutka, Lambole, McKenna, Murphy & Lamb, 2012) no pudieron transferirse a mejoras en el tiempo en competición (Chung et al., 2012). Sin embargo, como aportación personal debemos considerar que el rendimiento en una competición depende de muchos otros factores no independientes al rendimiento condicional.

Los anteriores resultados refuerzan un estudio previo donde en un grupo de corredores de 400 m, a pesar de seguir un protocolo de suplementación en rampa de 4 semanas que comenzó en 2,4 g/d para finalizar en 4,8 g/d de B-Alanina, éstos obtuvieron incrementos significativos en los niveles de carnosina que no pudieron ser acompañados de mejoras en el tiempo en recorrer los 400 metros (Derave et al., 2007). Sin embargo, dicha ausencia de mejora dista con el torque medido en 5 series de 30 contracciones máximas de extensión de piernas en una máquina isocinética donde sí se obtuvieron mejoras significativas durante las 5 series, siendo estas diferencias estadísticamente significativas con respecto al grupo placebo en las 2 últimas series (Derave et al., 2007). Otra posible explicación puede radicar en que la disminución del pH no sea un parámetro que afecte significativamente al rendimiento en este tipo de pruebas con una duración inferior a 1 minuto. De este modo, estos resultados pueden estar en consonancia con los observados por Dutka & Cols (2012) en los que, a pesar de observar mejoras significativas en la prueba de 200 m natación, en los 100 m (con una duración más próxima al estudio anterior) los resultados únicamente mostraban una tendencia a la significación.

#### ***1.4.3. Suplementación de B-Alanina para las modalidades deportivas de larga duración y baja intensidad:***

Consideramos pruebas de larga duración aquellas superiores a los 10 minutos que se caracterizan por tener una intensidad inferior o en torno al VO<sub>2</sub>máx. El VO<sub>2</sub>máx es un parámetro fisiológico que expresa la máxima capacidad del organismo de captar, transportar y utilizar oxígeno por unidad de tiempo (Viana-Montaner,

Gómez-Puerto, Centeno-Prada, Beas-Jiménez, Melero-Romero & Da Silva-Grigoletto, 2009). Se estima que una intensidad relativa al VO<sub>2</sub>máx puede mantenerse alrededor de 5 minutos (Berthon et al., 1997).

Para considerar la ingesta exógena de B-Alanina mediante la suplementación en estos tipos de modalidades deportivas deberemos analizar cuáles son los principales factores limitantes del rendimiento. En este caso, los factores determinantes son: el VO<sub>2</sub>máx, el umbral anaeróbico, la transición aeróbico-anaeróbica, capacidad cardiocirculatoria y la eficiencia energética (Bassett & Howley, 2000). Pese a que al tratarse de un esfuerzo aeróbico el lactato no sea tan determinante como en las anteriores modalidades, la transición aeróbico-anaeróbica es crucial, ya que permitirá al deportista ir a velocidades más altas en un estado estable de lactato (Billat, Sirvent, Koralsztejn & Mercier, 2003). La composición corporal influirá notablemente. Así, se ha observado una correlación inversa entre la masa grasa y el rendimiento en triatletas de alto nivel (118), seguramente por interacciones en la economía del movimiento (Legaz & Easton, 2005). Este parámetro será específicamente analizado más adelante en relación con la ingesta de la B-Alanina.

Otros principales factores limitantes parecen ser la capacidad de captación y recaptación de calcio en el retículo sarcoplasmático, agotamiento de las reservas energéticas, hipertermia, fatiga central, daño muscular, producción de radicales libres producto del estrés oxidativo, así como la acumulación de metabolitos como iones de hidrógeno (Begun, Cunliffe & Leveritt, 2005; Burnley & Jones, 2007; Powers & Jackson, 2008).

Según la literatura y con el objetivo de encontrar efectos beneficiosos en la ingesta de la Beta-Alanina en estas modalidades deportivas mediante una mejora en el equilibrio ácido-base en ejercicios de resistencia aeróbica, Baguet & cols (2010) estudiaron el efecto sobre el componente lento del consumo de oxígeno (VO<sub>2</sub>) mediante una suplementación en rampa de 2,4g/diarios al inicio, hasta los 4,8 g/diarios durante 4 semanas. En el estudio citado comprobaron como la administración de B-Alanina se acompañó de una mejora en la regulación de los niveles de pH, tras ejercitarse a una intensidad situada al 50% entre el umbral ventilatorio (VT) y el VO<sub>2</sub>máx, a pesar de no encontrar diferencias en el intercambio gaseoso (medido

mediante analizador de gases), lo que sugiere una más que posible mejora en la reducción de la acidosis a intensidades moderadas o elevadas de ejercicio ().

En otro estudio, Ghiasvand et al. (2012) estudiaron la respuesta sobre el  $VO_2$ máx en un grupo de estudiantes universitarios de educación física, que siguieron un protocolo de suplementación con B-Alanina a una dosis de 2 g/d durante un período de 6 semanas, encontrando mejoras significativas (de 2,62 a 2,79 l/min), así como en una prueba hasta el agotamiento a una carga constante (de 923 a 992 segundos). Estos autores del citado estudio, atribuyeron las mejoras observadas a un aumento en la capacidad buffer que hubiese retrasado la aparición de fatiga.

En esta misma línea, recientemente se ha valorado el efecto sobre una prueba de 2.000 m en remoergómetro en un grupo de remeros altamente entrenados que se suplementaron con 6-7 g (80 mg/kg)/d de B-Alanina durante un período de 4 semanas (Ducker, Dawson & Wallman, 2013). En dicho estudio se observó una mejora del rendimiento en 2,9 segundos, si bien, los resultados a pesar de no mostrar una diferencia estadísticamente significativa, sí que mostraron una tendencia a la significación ( $p = 0,55$ ). Seguramente, el pequeño tamaño de la muestra pudiese haber condicionado los resultados ( $n = 7$ ). No obstante, los remeros que se suplementaron obtuvieron tiempos estadísticamente superiores en 2 de los parciales intermedios (750 y 1.000 m) lo que pudo ser debido a una mayor capacidad de regular el pH, dado que la disminución del mismo fue inferior en el grupo de intervención. Sin embargo, en otro estudio llevado a cabo en una prueba hasta el agotamiento a una intensidad relativa del 90-100% de  $Vo_2$ max no se encontraron mejoras de rendimiento tras seguir un protocolo de suplementación de 4 semanas con una dosis de 4,8 g/diarios (Smith-Ryan, Fukuda, Stout & Kendall, 2012).

A modo de resumen y citados algunos estudios importantes, podemos ver cómo los deportistas de modalidades de resistencia aeróbica pudieran beneficiarse mediante la suplementación con B-Alanina, ya que, podría existir una mejora en el VT (Stout et al., 2007; Zoeller, Stout, O'kroy, Torok & Mielke, 2007), así como una disminución de la fatiga neuromuscular, siendo posible que exista una mejora a intensidades máximas. Del mismo modo, debemos pensar que, en este tipo de modalidades deportivas, muchas veces el éxito se debe a la capacidad de los deportistas de poder realizar un último esfuerzo con un alto componente anaeróbico como puede ser un sprint en los últimos metros. Es por ello que, resultados como los anteriormente reportados por Van Thienen et al. (2009), en los que se produce una

mejora significativa en la potencia pico y media durante un test de Wingate tras la realización de una prueba a intensidades variables, por encima y por debajo del MLSS (estado máximo del lactato estable), con una duración de 125 minutos, hace que se considere interesante esta suplementación en los deportistas de estas modalidades deportivas donde predomina el metabolismo aeróbico.

## **2. Efectos específicos de la suplementación con B-Alanina en el fútbol**

El fútbol es un deporte sociomotor intermitente, discontinuo y con acciones de gran intensidad, en el que se alternan carreras, saltos, cambios de ritmo y de dirección, con periodos de actividad a baja intensidad o incluso reposo. La energía obtenida para hacer frente a estas demandas proviene de tres vías metabólicas (Ekblom, 1986): Vía aeróbica, anaeróbico láctica y anaeróbico aláctica. Para poder plantearse la suplementación de B-Alanina como una ayuda ergogénica eficiente y efectiva que pudiese aumentar el rendimiento deportivo en los futbolistas, es vital que realizar un análisis de los factores fisiológicos específicos en el fútbol para conocer cómo y en qué medida podría este suplemento ayudar a aumentar el rendimiento deportivo.

### **2.1. Demandas fisiológicas específicas del fútbol:**

#### **2.1.1. Sistema energético:**

El fútbol es un sistema de juego donde la mayoría de partidos duran 90 minutos. Durante ese periodo, los jugadores corren de media 10-12km (Bangsbo, Nørregaard & Thorsøe, 1991; Smaros, 1980; Shephard 1999; Stølen, Chamari, Castagna & Wisløff, 2005) a una intensidad media que se acerca al umbral anaeróbico situado en 174 pulsaciones/min (4-6 mMol/L). Sin embargo, el fútbol se caracteriza por ser un deporte intermitente donde se alternan acciones a máxima intensidad con periodos de recuperación incompletos donde se dan cambios de actividad cada 4-10 segundos (Bangsbo, 1994). Estos conjuntos de acciones a máxima intensidad dependen de la vía energética anaeróbico láctica y aláctica dependiendo del tiempo del esfuerzo. Cuanto más corto sea el esfuerzo (un disparo a portería o un cambio de ritmo) mayor será la utilización del ATP y PC como sustrato energético y por lo tanto, la vía anaeróbico aláctica. Sin embargo, si los esfuerzos se mantienen a partir de los 10 segundos hasta el minuto y medio a máxima intensidad los sustratos energéticos

serán mayormente los hidratos de carbono mediante el metabolismo anaeróbico láctico. En consecuencia, la degradación de los propios hidratos de carbono (almacenado en el musculo y en el hígado en forma de glucógeno muscular) producirá una cantidad de ácido láctico y a su vez iones de hidrogeno que serán los culpables de que haya una disminución en el pH intramuscular.

En el resto del tiempo donde el jugador no realiza acciones a máxima intensidad adquiere importancia el metabolismo aeróbico, donde el principal sustrato energético son las grasas. Sin embargo, como ya hemos mencionado anteriormente, el rendimiento en el futbol depende de las acciones anaeróbicas, ya que son las que más influencia tienen en el sistema de juego. En esta línea, algunos autores (Tumilty, 1993; Green, 1992) argumentan que la capacidad anaeróbica puede diferenciar mejor a los buenos futbolistas que la capacidad aeróbica, a pesar de que en términos porcentuales el 64% del esfuerzo de un partido sea aeróbico (65-75% del  $Vo_{2max}$ ) y el 36% en cambio anaeróbico. De ese 36% de esfuerzos anaeróbicos, un 14% son esfuerzos anaeróbicos potentes como Sprint etc. Debemos destacar también que la fracción de potencia aeróbica máxima que puede mantenerse durante un periodo de larga duración limita el umbral anaeróbico (Pate & Kriska, 1984).

### **2.1.2. Umbral anaeróbico:**

En un estudio realizado con jugadores de elite de futbol en umbral anaeróbico se situaba al 80-85% del  $Vo_{2max}$ . Y al 87-90% de la frecuencia cardiaca máxima (Helgerud, Engen, Wisloff & Hoff, 2001). Valores similares encontraron Hoff & Helgerud (2004) donde situaban el umbral anaeróbico entre el 76,6% y el 90% de la frecuencia cardiaca máxima. En la liga Española el umbral anaeróbico de los jugadores de futbol se sitúa al 80% del  $Vo_{2max}$  o lo equivalente al 83% de la velocidad máxima alcanzada y al 90% de la frecuencia cardiaca máxima (Casajús 2001). Podemos decir por lo tanto, que la distancia recorrida por un jugador a lo largo del partido tiene una doble influencia: Por un lado por la potencia aeróbica de un jugador y por otro lado, por la capacidad del jugador de mantener la potencia anaeróbica. En un estudio que se hizo con los jugadores de futbol de Dinamarca (Bangsbo, Nørregaard & Thorsøe, 1991), se encontró que en la primera parte de los partidos se corría un 5-9% más que lo que se corre en el segundo tiempo. Otros estudios afirman que esta disminución de rendimiento en términos de menor distancia recorrida durante

el segundo tiempo no se da en los futbolistas con una buena base aeróbica (Tumilty, 1993; Helgerud et al., 2001).

### **2.1.3. Concentraciones de lactato:**

El umbral anaeróbico es el punto fisiológico donde pequeños incrementos de intensidad disparan los valores de lactato en sangre. En el caso del fútbol, al ser un deporte donde inciden vías metabólicas distintas debemos decir que los valores de lactato no permanecen estables durante todo el partido. Los esfuerzos cortos pero intensos que tienen muy poco tiempo de descanso hace que los valores de lactato se incrementen exponencialmente en ese momento, pero tras un periodo de descanso activo o pasivo (en el caso de parones del juego) esos valores disminuyen. El análisis de los valores medios de lactato en competición ronda en torno a los 4-6 mMol, ya que el jugador de fútbol (dependiendo del puesto específico) juega el partido a una intensidad correspondiente al umbral anaeróbico. Sin embargo, debemos matizar que al ser un deporte donde se dan acciones a máxima intensidad con periodos de recuperación incompletos, los valores de lactato pueden subir hasta los 9-10 mMol o más (Ekblom, 1986, Agnevik, 1970).

### **2.1.4. Consumo máximo de Oxígeno:**

Se define el consumo máximo de oxígeno ( $Vo_{2M\acute{a}x}$ ) como la capacidad que tiene el organismo para el absorber, transportar y utilizar la cantidad máxima de oxígeno por unidad de tiempo. Los valores medios del  $Vo_{2m\acute{a}x}$  de un jugador de fútbol profesional rondan entorno a los 55-67 ml/kg/min (White, Emery, Kane, Groves & Risman 1988; Davis, Brewer & Atkin 1992; Hoff 2005). En el siguiente cuadro se muestran los valores del consumo máximo de oxígeno de los futbolistas de alto nivel medidos en los últimos años en cinta rodante:

AUTOR	GRUPO ANALIZADO	NUMERO DEPORTISTAS INVESTIGADOS	$Vo_{2m\acute{a}x}$ (ml.kg.min)
Casajús 2001	Primera división Española	14	65,5 (+/- 8)
Al-Hazzaa (2001)	Élite Saudíes	26	56,8 (+/- 4,8)
Hoff (2002)	Profesionales Noruegos	6	67,8 (+/- 7,6)

Dowson (2002)	Selección de Nueva Zelanda	21	60,5 (+/- 2,6)
Wisloff (2003)	Profesionales Noruegos	17	65,7 (+/- 4,3)
Arnason (2004)	Élite Islandeses	80	63,2 (+/- 0,4)

Tabla 1: Comparación de los valores de consumo máximo de oxígeno de los futbolistas de alto nivel.

Estos estudios demuestran que en general, los parámetros indicadores de la condición aeróbica ( $Vo_{2max}$ ) se sitúan en los futbolistas en valores intermedios si los comparamos con otros deportes, por lo que no puede considerarse la condición aeróbica como un criterio decisivo para el rendimiento. Sin embargo, es importante su desarrollo (sin perjudicar ni interferir en el desarrollo de otras capacidades) ya que se considera la base y el sustento de otras cualidades además de que tiene como principal función facilitar una mejor y más rápida recuperación de los esfuerzos intermitentes de alta intensidad caracterizados en el desarrollo de un partido de fútbol.

Durante un partido, los valores de consumo de oxígeno en porcentaje al  $Vo_{2max}$  están en torno al 70-80 % (Ekblom 1986; Bangsbo 1994). En otro estudio más reciente, se encontró un valor de  $Vo_{2}$  medio del 65% del  $Vo_{2max}$  con intervalos entre el 53% y el 80% del  $Vo_{2max}$  (Krustrup 2002). La variación de estos valores radica en que no todos los jugadores tienen el mismo consumo de oxígeno; Existen algunas evidencias científicas que demuestran que hay diferencias en las demandas fisiológicas entre los diferentes puestos en el fútbol (delanteros, mediocentros y defensores), ya que hay mayores demandas energéticas en la posición de medio campo. De hecho, varios estudios (McIntyre & Hall, 2005, Reilly, Williams, Nevill & Franks, 2000) han concluido que los jugadores de medio campo tienen valores de  $Vo_{2max}$  absolutos mayores que las demás posiciones. Por lo tanto, podremos decir que los valores de  $Vo_{2max}$  durante el partido varían dependiendo de la posición específica de cada jugador, estando los centrocampistas por encima del umbral anaeróbico y los defensas centrales por debajo del umbral anaeróbico (Ekblom, 1986).

Desde el punto de vista del entrenamiento de resistencia, el trabajo intermitente (interválico) (90-95% de la F.c máx.) aumenta los valores de  $Vo_{2max}$  10-30% en un entrenamiento de 8 a 10 semanas con variaciones individuales debidas a la condición física y al tipo de entrenamiento (Helgerud et al., 2001; Helgerud, Kemi & Hoff, 2002).

### **2.1.5. Frecuencia cardíaca:**

La frecuencia cardíaca media durante un partido se sitúa en torno a 150-170 pulsaciones por minuto pero teniendo en cuenta que el futbolista pasa mucho tiempo del juego parado, lo cual baja la media. Sin embargo, durante 2/3 del partido los futbolistas mantienen una frecuencia cardíaca correspondiente al 80% de la máxima (Smodlaka, 1978). Además, como ya se ha mencionado anteriormente, existen diferencias significativas entre las diferentes posiciones en cuanto a la intensidad durante un partido. Las frecuencias cardíacas que alcanzan los jugadores en competición varían aproximadamente de 125 a 200 latidos/minuto en los delanteros, con una duración que va desde los 2 minutos hasta los 12 minutos (VV. AA., Unión Soviética, citado por Comucci & Leali 1986). En los defensas y centrocampistas la frecuencia cardíaca predominante (30 min aproximadamente) se sitúa a nivel del umbral aeróbico-anaeróbico (150-175 latidos/minuto). La frecuencia cardíaca media durante un partido se sitúa en torno a 150-170 pulsaciones por minuto pero teniendo en cuenta que el futbolista pasa mucho tiempo del juego parado, lo cual baja la media. Además, como ya se ha mencionado anteriormente, existen diferencias significativas entre las diferentes posiciones.

### **2.1.6. Parámetros fisiológicos del propio patrón de juego:**

En el contexto aeróbico de un partido de fútbol, las situaciones más interesantes y que mayor consecuencia tienen en el sistema de juego son las situaciones de máxima intensidad como sprints, disparos o cambios de ritmo. Cada 90 segundos se produce un sprint de 2-4 segundos de duración por lo tanto, podríamos decir que el sprint constituye el 1-11% de la distancia total recorrida durante un partido de fútbol (Bangsbo et al., 1991) lo que equivale al 0,5-3% del tiempo efectivo del partido (O'Donoghue, 2001; Ali & Farrally, 1991; Bangsbo, 1992).

Durante el juego, los jugadores cambian de actividad cada 5 segundos en promedio y realizan aproximadamente entre 100 y 1300 acciones de las cuales 200 son realizadas a alta intensidad (Bangsbo, Mohr & Krusturp, 2006). De esas actividades realizadas a máxima intensidad durante un partido, se distribuyen de media en 10-20 sprints, 1 carrera de alta intensidad cada 70 segundos, 10 golpes de cabeza, 15 disparos a portería y 50 actividades con balón (Stølen et al., 2005) En consecuencia, debemos destacar que en el fútbol la habilidad para realizar series de

esfuerzo de alta intensidad durante el juego es de gran importancia para mejorar el rendimiento.

Las investigaciones más recientes a cerca de la distancia total que se recorre durante un partido de futbol registrados directamente mediante sistemas informáticos (AMISCO) estiman una distancia total de 11240 metros (Martinez 2004; Di Salvo et al. 2007) o 5320 metros en 45 minutos (Zubillaga 2006).

El recorrido total que hacen los jugadores de futbol profesional en sprint durante todo el partido está entre los 500 y los 3000 metros, con una cifra de 100 repeticiones por cada jugador por partido (Weineck, 2004).

### ***2.1.7. Diferencias fisiológicas entre la primera y segunda parte:***

Las rutinas normales de recuperación durante los 15 minutos de descanso en la mitad de parte no ofrecen una preparación óptima para la segunda parte, hecho que se relaciona principalmente con la disminución de la temperatura corporal (Mohr, Krstrup & Bangsbo, 2005). Se ha encontrado una importante relación entre la temperatura muscular y un alto rendimiento en ejercicios de alta intensidad (Bangsbo 1994). Por ejemplo, la temperatura muscular es mayor a 39°C después del calentamiento previo al partido y permanece así durante toda la primer parte, pero durante el descanso, la temperatura disminuye cerca de 2°C (Mohr et al., 2005). Para contrarrestar esta reducción, Mohr sugiere que con un re-calentamiento en los últimos 7-8 minutos del descanso, se mejoraría el rendimiento inicial de los futbolistas.

### ***2.1.8. Intensidades durante un partido de fútbol:***

El factor limitante del rendimiento en un partido de futbol no viene marcada por el número total de metros recorridos durante un partido de fútbol, sino por la intensidad de los desplazamientos y el porcentaje de esos metros cubiertos a alta intensidad. La mayor parte del juego se pasa andando y trotando (83-85%) y algo menos corriendo rápido y esprintando (7-10%) y muy poco tiempo parado (4-10%) (Mayhew & Wenger, 1985).

Sin embargo, la intensidad varía dependiendo de los puestos específicos. Un estudio de 300 futbolistas de élite Europeos (Di Salvo et al., 2007) afirma que se encuentran diferencias significativas en la distancia recorrida a sprint (más de 23 km/h entre jugadores de distinto puesto; de hecho, se encontró que los jugadores que más distancia a sprint recorren son los extremos, seguidos de cerca por los delanteros y

laterales, mientras que los mediocentros y los centrales son los que menos distancia recorren a velocidades por encima de 23 km/h.

Otro reciente estudio de la “Premier Ligue” Inglesa muestra que los delanteros ocupan parte importante del tiempo de juego en actividades de alta o muy alta intensidad, comparado con los centrocampistas o los defensores (Rampinini et al., 2007).

Sin embargo, los mediocentros son los jugadores que mayor distancia total recorren durante el partido, a pesar de que realicen menos acciones a máxima intensidad comparado con los delanteros o los defensas (Mohr, Krusturup, Nybo, Nielsen & Bangsbo, 2004).

POSICION	DISTANCIA RECORRIDA A DISTINTAS INTENSIDADES (METROS)				
	0-11 Km/h	11,1-14 Km/h	14,1-19 Km/h	19,1-23 Km/h	>23 Km/h
DEFENSA CENTRALES	7080 (+/- 420)	1380 (+/- 232)	1257 (+/- 244)	397 (+/- 114)	215 (+/- 114)
DEFENSA LATERALES	7012 (+/- 377)	1590 (+/- 257)	1730 (+/- 262)	652 (+/- 179)	402 (+/- 179)
MEDIOCENTRO S	7061 (+/- 272)	1965 (+/- 288)	2116 (+/- 369)	627 (+/- 184)	248 (+/- 184)
EXTREMOS	6960 (+/- 601)	1743 (+/- 309)	1987 (+/- 412)	738 (+/- 174)	446 (+/- 174)
DELANTEROS	6958 (+/- 438)	1562 (+/- 295)	1683 (+/- 413)	621 (+/- 161)	621 (+/- 161)

Tabla 2: Modificado de Di Salvo et al. (2007)

La velocidad de sprint en los partidos alcanza los valores máximos alrededor de 32 km/h (Bangsbo & Mohr 2005).

## 2.2. Mecanismos de producción de fatiga:

El rendimiento en los jugadores de fútbol no es uniforme a lo largo de todo el partido (Mohr, Krusturup & Bangsbo, 2005; Ramapinini et al., 2007). Durante las segundas partes, las acciones a máxima intensidad son menos frecuentes y los jugadores recorren menor distancia. Los esfuerzos cortos y muy intensos con un

tiempo recuperación breve hacen que el futbolista no se recupere totalmente del esfuerzo y que en consecuencia se acumule fatiga. Posibles mecanismos de fatiga:

- **Acumulo de sustancias o metabolitos** que podrían limitar la continuidad del ejercicio (Terrados & Calleja-González, 2008). Mayormente los metabolitos principales son los hidrogeniones, el pi (fosforo inorgánico) y el amoniaco.
- **Acumulación del lactato en sangre:** Después de esfuerzos de gran intensidad con descansos incompletos donde existe un acumulo de lactato superior a los 10 mMol se produce una disminución del rendimiento por parte del deportista que le impide mantener una intensidad alta en los posteriores minutos al jugador.
- **La Temperatura corporal:** En condiciones extremas de calor  $>30^{\circ}$  con un alto porcentaje de humedad donde no existe el viento, se crea un microclima que hace que el sudor no se pueda evaporar. En consecuencia, el calor no se disipa y teniendo en cuenta que la temperatura corporal se desciende cuando el sudor se evapora, nos conduce a una situación donde el organismo tratará de seguir sudando para bajar esa temperatura corporal. Esto puede llevar al futbolista a caer en un estado de deshidratación que induciría a un aumento de la fatiga muscular, reduciendo el rendimiento (Gopinathan, Pichan & Sharma, 1998; Sawka & Montain, 2000).
- **Depleción de sustratos energéticos:** Como se ha mencionado anteriormente, los hidratos de carbono son los principales sustratos energéticos utilizados durante un partido de futbol. Diferentes autores (Smaros, 1980; Jacobs & Col., 1982) demostraron que al final de los partidos los futbolistas presentan una depleción notable de las reservas musculares de glucógeno y destacaron que los jugadores con una menor concentración de glucógeno muscular antes de empezar el partido corrían una distancia.

### **2.3. Justificación de la ingesta de B-Alanina como posible aumento del rendimiento en el fútbol:**

A pesar de que el fútbol en términos de tiempo se considere un deporte mayormente aeróbico debido a su duración de 90 minutos, el factor limitante del rendimiento depende de esas acciones de alta y muy alta intensidad que se repiten en el tiempo con descansos incompletos, como son los cambios de ritmo, cambios de dirección, disparos, saltos, sprint etc. Estas acciones de alta intensidad, producen una disminución de las reservas de ATP, PCr, sustratos glucogénicos y a su vez una acumulación de metabolitos dentro de la propia célula muscular (como pueden ser el ADP, fosfato inorgánico, iones de hidrógeno y magnesio), que son señalados como causantes de la fatiga muscular en este tipo de ejercicios (Robergs, Ghiasvand & Parker, 2004; Allen, Lamb & Westerblad, 2008). Específicamente y en relación con la acidosis, la excesiva concentración de iones de hidrógeno provoca una disminución del pH intramuscular, favoreciendo la aparición de la fatiga debido a la acidosis (Messonnier, Kristensen, Juel & Denis, 2007; Hill et al., 2007).

Cuando esas series repetidas de intervalos de alta intensidad se intercalan con períodos cortos e incompletos de descanso, las acciones subsiguientes comienzan con niveles de pH mucho más bajos, debido a la acidosis que se va generando (Bakardjiev & Bauer, 1994). En consecuencia, la influencia en el fútbol es directa, ya que el patrón limitante del rendimiento depende de los esfuerzos cortos realizados a máxima intensidad repetidos en el tiempo con descansos incompletos (Weineck 1997). En consecuencia, podemos afirmar que desde el punto de vista fisiológico, el rendimiento específico en el fútbol disminuye debido a la disminución del pH (acidosis) por el excesivo acúmulo de los iones de hidrógeno intramusculares y la imposibilidad del organismo para taponar esos protones (Mohr, Krstrup & Bangsbo, 2005).

El ejercicio de alta intensidad produce una disminución en las reservas de adenosin trifosfato (ATP), fosfocreatina (PCr), sustratos glucogénicos y de la acumulación de metabolitos dentro de la célula [adenosin difosfato (ADP), fosfato inorgánico (Pi), iones hidrógeno (H<sup>+</sup>) y magnesio (Mg<sup>+</sup>)], que han sido señalados como causantes de la fatiga muscular (Robergs, Ghiasvand & Parker, 2004; Spriet, Lindinger, McKelvie, Heigenhauser & Jones, 1989; Allen, Lamb & Westerblad, 2008).

En resumen, el objetivo del futbolista durante un partido será realizar el mayor número de acciones posibles a máxima intensidad durante el máximo tiempo posible

en el partido. En consecuencia, la suplementación con beta alanina durante 12 semanas podría incrementar la capacidad buffer del musculo debido al aumento de los niveles de carnosina, retrasando el descenso del pH intramuscular y en consecuencia la aparición de la fatiga en ese tipo de concreto de acciones.

#### **2.4. Estudios específicos de la suplementación con B-Alanina en el fútbol:**

La suplementación de B-alanina como ayuda ergogénica para aumentar el rendimiento deportivo está siendo cada vez más estudiada por numerosas investigaciones vinculadas al mundo del deporte y a pesar de no tener numerosas investigaciones que avalen la eficacia de este suplemento en cuanto a número, comienzan a haber evidencias científicas que podrían marcar una nueva tendencia de suplementación en un futuro. Sin embargo, la mayoría de evidencias científicas que disponemos hoy en día provienen de estudios de deportes cíclicos como la natación, atletismo o ciclismo, ya que en este tipo de deportes desde el punto de vista bioenergético hay una mayor estabilidad y en consecuencia los factores limitantes del rendimiento están claramente mejor definidos.

En los deportes intermitentes donde el factor limitante del rendimiento puede ser la capacidad de repetir sprints (RSA) o capacidad de repetir cambios de dirección (CODA) las investigaciones son mucho mas reducidas. En este sentido, Previos estudios no han encontrado mejoras significativas en el efecto de la suplementación con beta alanina y su correlación con el rendimiento en la capacidad de repetir sprines (RSA) (Hoffman et al., 2008; Sweeney, Wright, Brice & Doberstein, 2010). Sin embargo, estos estudios no determinaron la capacidad de repetir sprines simulando lo que realmente sucedía en competición y además, no consideraron la implicación de la demanda metabólica adicional de la actividad al completo (Sale, Saunders & Harris, 2010). De hecho, esos protocolos miden la capacidad de rendimiento en ejercicios de alta intensidad de menos de 60 segundos de duración y en un análisis de la literatura, Hobson et al. (2010) dejaron claro en un meta análisis que la beta alanina era más efectiva en mejorar la capacidad de rendimiento en los ejercicios que sobrepasaran los 60 segundos. De hecho, demostraron este suplemento mejoraba el rendimiento en los esfuerzos de alta intensidad entre 60 y 240 segundos y a partir de 240 segundos, pero no en los esfuerzos de menos tiempo que 60 segundos. El tramo entre 60 y 240seg es un periodo donde las fuentes energéticas anaeróbicas contribuyen entre el 20 y el 60% de la demanda energética total (Maughan, Gleeson & Greenhaff,

1997), lo que da como resultado una acumulación de iones de hidrogeno. En cambio, en los ejercicios de menor duración que 60 segundos, se ha demostrado que no es un tiempo suficiente para que se diese una reducción del pH que pueda limitar el ejercicio (Sale et al., 2010), a pesar de que los ejercicios repetidos de alta intensidad puedan aumentar la sensibilidad a la reducción del pH.

Actualmente son dos los estudios más significativos que se han realizado en lo que al fútbol se refiere. Por un lado, Hoffman et al. (2008) realizaron un estudio con jóvenes futbolistas universitarios donde trataron de comprobar si 30 días de suplementación con b-alanina mejoraban los parámetros anaeróbicos de los jugadores, medidos mediante el test Wingate de potencia anaeróbica y un test de campo intermitente que medía la capacidad de repetir sprints (RSA). No se encontraron diferencias significativas en cuanto al tiempo de sprint en el test de campo entre el grupo de b-alanina y el grupo placebo. Sin embargo, se encontró una tendencia a la mejora en el ratio de fatiga por parte del grupo de suplementación con b-alanina respecto al grupo control. En cuanto a los valores de percepción subjetiva de la fatiga también se encontraron diferencias significativas entre el grupo que consumió b-alanina y el grupo placebo. La conclusión de este estudio fue que a pesar de que la sensación de fatiga durante los 60 segundos de esfuerzo máximo fue menor en el grupo experimental, 3 semanas de suplementación no eran suficientes para encontrar diferencias significativas en los ratios de fatiga durante esfuerzos de alta intensidad anaeróbicos.

Posteriormente Saunders, Sunderland, Harris & Sale (2012) investigaron los efectos de 12 semanas de suplementación de b-alanina con 17 futbolistas amateur en el test específico de campo YoYo IR2. En esta ocasión, encontraron diferencias significativas en lo que a la distancia recorrida en el test se refiere entre el grupo b-alanina y el grupo placebo, concluyendo que 12 semanas de suplementación de b-alanina mejoraban el rendimiento en el YoYo IR2 test debido a un aumento en la capacidad "buffer" del organismo que en consecuencia atenuaba la reducción del pH intramuscular.

Por último, en un estudio reciente (Rodríguez, Delgado, Rivera, Tapia & Cristi-Montero, 2015) llevado a cabo con 10 futbolistas femeninas se evaluó el efecto de 30 días de suplementación con b-alanina, valorados mediante 3 tests Wingate consecutivos con 5 minutos de descanso entre estos. El grupo que consumió b-alanina mejoró significativamente la potencia media a diferencia del grupo control y en

cuanto a la potencia máxima, solo fue mejor en el primer sprint. Estos autores concluyeron que 30 días de suplementación con beta alanina mejoraban la potencia media y potencia máxima incluso después de realizar sprints consecutivos, pudiendo mejorar el rendimiento en el fútbol.

### **3. Conclusiones:**

El principal efecto de la ingesta exógena de B-Alanina en el organismo radica en el aumento de la carnosina muscular, ya que juega un papel muy importante como factor limitante en la síntesis de ésta, un dipéptido citoplasmático que tiene la capacidad de secuestrar los protones inducidos por el ejercicio de alta intensidad, retrasando la disminución del pH intramuscular y en consecuencia, retrasando la fatiga. La mayoría de los estudios hasta el momento sobre el efecto de la B-Alanina y el rendimiento deportivo se centran en los deportes cíclicos, especialmente en aquellos deportes anaeróbicos donde la disminución del pH es limitante del rendimiento deportivo y a pesar de que los estudios no son muy cuantitativos en la bibliografía, existen evidencias científicas suficientes para contrastar los efectos positivos de este suplemento en el aumento deportivo, sobre todo en aquellos donde el factor limitante es el metabolismo anaeróbico.

En el caso del fútbol, si bien en la bibliografía los estudios sobre la B-Alanina y el rendimiento deportivo ya son bastante reducidos, son 3 únicamente los estudios que han investigado la correlación de este suplemento con el rendimiento deportivo, a pesar del auge que está teniendo este suplemento en otras modalidades deportivas. Este grupo reducido de estudios puede ser debido a que el fútbol en términos de duración (90 minutos) sea un deporte principalmente aeróbico y por lo tanto, a priori no interesa la suplementación de un suplemento que en un principio no potencie el rendimiento en los deportes aeróbicos. Además, si añadimos que el fútbol es un deporte multifactorial donde a diferencia de los deportes cíclicos el rendimiento deportivo no depende única y exclusivamente de los factores condicionales, dificultan la aparición de nuevos estudios que busquen la correlación de este suplemento con el rendimiento.

En consecuencia y al no tener evidencias científicas suficientes debido a la poca cantidad de estudios realizados en fútbol, no podemos afirmar que este suplemento deportivo conlleve un aumento del rendimiento deportivo. Sin embargo y

basándonos en las evidencias científicas que tenemos hoy en día en cuanto a los factores fisiológicos limitantes en el rendimiento en el Fútbol y en cuanto a la efecto de la b-alanina sobre el metabolismo en ejercicio, podemos afirmar a modo teórico que la ingesta de este suplemento podría retrasar la fatiga en los futbolistas gracias a la posible mejora sobre la capacidad de repetición sprints (RSA) o acciones a alta intensidad, tanto en cantidad como en calidad.

#### **4. Posibles vías de investigación:**

A pesar de que el uso de la b-alanina como suplemento deportivo se está convirtiendo en algo cada vez más habitual por parte de los deportistas cíclicos, la necesidad de que se realicen más estudios relacionados con los deportes de equipo y el fútbol en concreto es vital para el desarrollo de la efectividad y eficiencia de este suplemento. Las evidencias científicas demuestran que la fatiga en el patrón limitante del rendimiento en este tipo de deportes proviene principalmente del descenso del pH, coincidiendo con el efecto de la suplementación de B-Alanina. En consecuencia, dada la estrecha relación que se encuentra (a nivel teórico) entre las bases fisiológicas del fútbol en este caso y el efecto de la suplementación con B-alanina en el retraso de la fatiga muscular, las futuras vías de investigación deberían dar un paso adelante para invertir en investigar en este nuevo ámbito. Además, estas futuras vías podrían girar no solo en torno al contraste científico del propio suplemento en el fútbol en general, sino también en el análisis y comparación del rendimiento específico entre las diferentes posiciones de campo gracias a las demandas específicas que tienen. Debido a que los delanteros son los que más distancia recorren a alta intensidad y los mediocentros los que más distancia recorren en términos absolutos (Di Salvo et al., 2007), podría ser interesante la investigación y comprobación para saber en qué medida este suplemento puede aumentar el rendimiento deportivo dependiendo del puesto que el jugador ocupa en el campo.

## REFERENCIAS:

- Agnevik, G. (1970). Football. *Sport Physiology Report*, 7.
- Águila, C. (1999). Efectos de la alcalosis metabólica inducida sobre el rendimiento físico en pruebas de alta intensidad. Revisión. *Revista de Entrenamiento Deportivo*, 13(2), 39-43.
- Ali A, Farrally M. (1991). A computer-video aided time-motion analysis technique for match analysis. *J Sports Med Phys Fitness*; 31: 82-8
- Allen DG, Lamb GD, Westerblad H (2008). Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. *Physiological reviews*, 88(1):287-332
- Artioli GG, Gualano B, Smith A, Stout J, Lancha AH. Role of beta-alanine supplementation on muscle carnosine and exercise performance. *Med Sci Sports Exerc* 2010; 42(6): 1162–73.
- Bangsbo, J. (1994). *Fitness training in football: a scientific approach*. August Krogh Inst., University of Copenhagen.
- Bangsbo, J., Nørregaard, L., & Thorsoe, F. (1991). Activity profile of competition soccer. *Canadian journal of sport sciences= Journal canadien des sciences du sport*, 16(2), 110-116.
- Bangsbo, J., Mohr, M., & Krstrup, P. (2006). Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *Journal of sports sciences*, 24(07), 665-674.
- Bangsbo, J., & Mohr, M. (2005). Variations In Running Speeds And Recovery Time After A Sprint During Top-class Soccer Matches: 472 Board# 63 2: 00 PM-3: 30 PM. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 37(5), S87.
- Bangsbo, J. (1994). *Fitness training in football: a scientific approach*. August Krogh Inst., University of Copenhagen.
- Baguet, A., Koppo, K., Pottier, A., & Derave, W. (2010).  $\beta$ -Alanine supplementation reduces acidosis but not oxygen uptake response during high-intensity cycling exercise. *European journal of applied physiology*, 108(3), 495-503.
- Bassett, D. R., & Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, (32), 70-84.
- Baumann, L., & Ingvaldsen, T. (1918). Concerning histidine and carnosine. The synthesis of carnosine. *Journal of Biological Chemistry*, 35(2), 263-276.
- Begum, G., Cunliffe, A., & Leveritt, M. (2005). Physiological role of carnosine in contracting muscle. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 15(5), 493.

- Berthon, P., Fellmann, N., Bedu, M., Beaune, B., Dabonneville, M., Coudert, J., & Chamoux, A. (1997). A 5-min running field test as a measurement of maximal aerobic velocity. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 75(3), 233-238.
- Bex, T., Chung, W., Baguet, A., Stegen, S., Stautemas, J., Achten, E., & Derave, W. (2014). Muscle carnosine loading by beta-alanine supplementation is more pronounced in trained vs. untrained muscles. *Journal of Applied Physiology*, 116(2), 204-209.
- Billat, V. L., Sirvent, P., Py, G., Koralsztein, J. P., & Mercier, J. (2003). The concept of maximal lactate steady state. *Sports Medicine*, 33(6), 407-426.
- Burnley, M., & Jones, A. M. (2007). Oxygen uptake kinetics as a determinant of sports performance. *European Journal of Sport Science*, 7(2), 63-79.
- Casajús, J. A. (2001). Seasonal variation in fitness variables in professional soccer players. *Journal of sports medicine and physical fitness*, 41(4), 463-469.
- Chung, W., Shaw, G., Anderson, M. E., Pyne, D. B., Saunders, P. U., Bishop, D. J., & Burke, L. M. (2012). Effect of 10 week beta-alanine supplementation on competition and training performance in elite swimmers. *Nutrients*, 4(10), 1441-1453.
- Costill, D. L., Verstappen, F., Kuipers, H., Janssen, E., & Fink, W. (1984). Acid-base balance during repeated bouts of exercise: influence of HCO<sub>3</sub>. *International journal of sports medicine*, 5(5), 228-231.
- Culbertson JY, Kreider RB, Greenwood M, Cooke M. Effects of beta-alanine on muscle carnosine and exercise performance: a review of the current literature. *Nutrients* 2010; 2: 75-98.
- Davis J, Brewer J, Atkin D. (1992). Pre-season physiological characteristics of English first and second division soccer players. *J Sports Sci*; 10: 541-7
- De Salles Painelli, V., Roschel, H., De Jesus, F., Sale, C., Harris, R. C., Solis, M. Y., ... & Artioli, G. G. (2013). The ergogenic effect of beta-alanine combined with sodium bicarbonate on high-intensity swimming performance. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 38(5), 525-532.
- Derave, W., Özdemir, M. S., Harris, R. C., Pottier, A., Reyngoudt, H., Koppo, K., ... & Achten, E. (2007).  $\beta$ -Alanine supplementation augments muscle carnosine content and attenuates fatigue during repeated isokinetic contraction bouts in trained sprinters. *Journal of applied physiology*, 103(5), 1736-1743.
- Decombaz, J., Beaumont, M., Vuichoud, J., Bouisset, F., Enslin, M., & Stellingwerff, T. (2011). The effect of slow-release  $\alpha$ -alanine on absorption kinetics and paresthesia. *Amino Acids*.

- Di Salvo, V., Baron, R., Tschan, H., Calderon Montero, F. J., Bachl, N., & Pigozzi, F. (2007). Performance characteristics according to playing position in elite soccer. *International journal of sports medicine*, 28(3), 222.
- Domínguez, R. (2012). Necesidades de hidratos de carbono en el deportista de resistencia. *Motricidad Humana*, 13(1), 60-66.
- Donaldson, S. K. B., Hermansen, L., & Bolles, L. (1978). Differential, direct effects of H<sup>+</sup> on Ca<sup>2+</sup>-activated force of skinned fibers from the soleus, cardiac and adductor magnus muscles of rabbits. *Pflügers Archiv*, 376(1), 55-65.
- Domínguez, R., Lougedo, J. H., Maté-Muñoz, J. L., & Garnacho-Castaño, M. V. (2014). Efectos de la suplementación con β-alanina sobre el rendimiento deportivo. *Nutrición Hospitalaria*, 31(n01).
- Dorado, C., Sanchis, J., & López-Calbet, J. A. (1997). Efectos de la administración de suplementos de creatina sobre el rendimiento. *Archivos de Medicina del Deporte*, 59, 213-221.
- Ducker, K. J., Dawson, B., & Wallman, K. E. (2013). Effect of Beta-Alanine Supplementation on 2,000-m Rowing-Ergometer Performance. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, (23), 336-43.
- Ducker, K. J., Dawson, B., & Wallman, K. E. (2013). Effect of beta alanine and sodium bicarbonate supplementation on repeated-sprint performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(12), 3450-3460.
- Dunnett, M., Harris, R. C., Dunnett, C. E., & Harris, P. A. (2002). Plasma carnosine concentration: diurnal variation and effects of age, exercise and muscle damage. *Equine Veterinary Journal*, 34(S34), 283-287.
- Dutka, T. L., Lambole, C. R., McKenna, M. J., Murphy, R. M., & Lamb, G. D. (2012). Effects of carnosine on contractile apparatus Ca<sup>2+</sup> sensitivity and sarcoplasmic reticulum Ca<sup>2+</sup> release in human skeletal muscle fibers. *Journal of Applied Physiology*, 112(5), 728-736.
- Ekblom, B. (1986). Applied physiology of soccer. *Sports Medicine*, 3(1), 50-60.
- Fabiato, A., & Fabiato, F. (1978). Effects of pH on the myofilaments and the sarcoplasmic reticulum of skinned cells from cardiac and skeletal muscles. *The Journal of physiology*, 276(1), 233-255.
- Ghiasvand, R., Askari, G., Malekzadeh, J., Hajishafiee, M., Daneshvar, P., Akbari, F., & Bahreynian, M. (2012). Effects of six weeks of β-alanine Administration on VO<sub>2</sub> max, Time to Exhaustion and Lactate Concentrations in Physical Education Students. *International journal of preventive medicine*, 3(8), 559.

- González Boto, R., García López, D., & Herrero Alonso, J. A. (2003). La suplementación con creatina en el deporte y su relación con el rendimiento deportivo. *Rev. int. med. cienc. act. fís. deporte*, 3(12), 242-259.
- Gopinathan, P. M., Pichan, G., & Sharma, V. M. (1988). Role of dehydration in heat stress-induced variations in mental performance. *Archives of Environmental Health: An International Journal*, 43(1), 15-17.
- Green, H. J. (1997). Mechanisms of muscle fatigue in intense exercise. *Journal of sports sciences*, 15(3), 247-256.
- Green S. (1992). Anthropometric and physiological characteristics of South Australian soccer players. *Aust J Sci Med Sport*; 24: 3-7
- Gutierrez, A., Anderstam, B., & Alvestrand, A. (1999). Amino acid concentration in the interstitium of human skeletal muscle: a microdialysis study. *European journal of clinical investigation*, 29, 947-952.
- Harris, R. C., Tallon, M. J., Dunnett, M., Boobis, L., Coakley, J., Kim, H. J., ... & Wise, J. A. (2006). The absorption of orally supplied  $\beta$ -alanine and its effect on muscle carnosine synthesis in human vastus lateralis. *Amino acids*, 30(3), 279-289.
- Harris, R. C., Kendrick, I. P., Kim, C., Kim, H., Dang, V. H., Lam, T. Q., ... & Wise, J. A. (2007). Effect of Physical Training on the Carnosine Content of V-Lateralis Using a One-leg Training Model: 910: June 1 5: 00 PM-5: 15 PM. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(5), S91.
- Harris, R. C., Edwards, R. H. T., Hultman, E., Nordesjö, L. O., Ny Lind, B., & Sahlin, K. (1976). The time course of phosphorylcreatine resynthesis during recovery of the quadriceps muscle in man. *Pflügers Archiv*, 367(2), 137-142.
- Harris, R. C., Jones, G. A., Kim, H. J., Kim, C. K., Price, K. A., & Wise, J. A. (2009). Changes in muscle carnosine of subjects with 4 weeks supplementation with a controlled release formulation of beta-alanine (Carnosyn™), and for 6 weeks post. *The FASEB Journal*, 23(1\_MeetingAbstracts), 599-4.
- Harris, R. C., Tallon, M. J., Dunnett, M., Boobis, L., Coakley, J., Kim, H. J., ... & Wise, J. A. (2006). The absorption of orally supplied  $\beta$ -alanine and its effect on muscle carnosine synthesis in human vastus lateralis. *Amino acids*, 30(3), 279-289.
- Helgerud, J., Engen, L. C., Wisloff, U., & Hoff, J. (2001). Aerobic endurance training improves soccer performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(11), 1925-1931.
- Helgerud J, Kemi OJ, Hoff J. (2002). Pre-season concurrent strength and endurance development in elite soccer players. In: Hoff J, Helgerud J, editors. *Football (soccer): new developments in physical training research*. Trondheim: NTNU, 55-66

- Hill, C. A., Harris, R. C., Kim, H. J., Harris, B. D., Sale, C., Boobis, L. H., ... & Wise, J. A. (2007). Influence of  $\beta$ -alanine supplementation on skeletal muscle carnosine concentrations and high intensity cycling capacity. *Amino acids*, 32(2), 225-233.
- Hobson, R. M., Saunders, B., Ball, G., Harris, R. C., & Sale, C. (2012). Effects of  $\beta$ -alanine supplementation on exercise performance: a meta-analysis. *Amino acids*, 43(1), 25-37.
- Hoffman JR, Emerson NS, Stout JR.  $\beta$ -alanine supplementation. *Curr Sports Med Reports* 2012; 11(4): 189-96. 11.
- Hoffman, J., Ratamess, N., Kang, J., Mangine, G., Faigenbaum, A., & Stout, J. (2006). Effect of creatine and  $\beta$ -alanine supplementation on performance and endocrine responses in strength/power athletes. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 16, 430-446.
- Hoff, J., & Helgerud, J. (2004). Endurance and strength training for soccer players. *Sports medicine*, 34(3), 165-180.
- Hoff, J. (2005). Training and testing physical capacities for elite soccer players. *Journal of sports sciences*, 23(6), 573-582.
- Hoffman, J. R., Ratamess, N. A., Faigenbaum, A. D., Ross, R., Kang, J., Stout, J. R., & Wise, J. A. (2008). Short-duration  $\beta$ -alanine supplementation increases training volume and reduces subjective feelings of fatigue in college football players. *Nutrition Research*, 28(1), 31-35.
- Jacobs, R., Kozlowski, S. W., & Shotland, R. L. (1982). The Problem on Predicting the Outcomes of National Football League Games and Other Phenomena of Equivalent Interest. *Basic and Applied Social Psychology*, 3(4), 249-257.
- Jagim, A. R., Wright, G. A., Brice, A. G., & Doberstein, S. T. (2013). Effects of beta-alanine supplementation on sprint endurance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(2), 526-532.
- Legaz, A., & Eston, R. (2005). Changes in performance, skinfold thicknesses, and fat patterning after three years of intense athletic conditioning in high level runners. *British journal of sports medicine*, 39(11), 851-856.
- Linderman, J. K., & Gosselink, K. L. (1994). The effects of sodium bicarbonate ingestion on exercise performance. *Sports Medicine*, 18(2), 75-80.
- Margaria, R., Cerretelli, P., Massari, C., & Torelli, G. (1963). Kinetics and mechanism of oxygen debt contraction in man. *Journal of applied physiology*, 18(2), 371-377.
- Martínez, F. D., de Suso Janáriz, J. M. G., & García, J. L. M. (Eds.). (2004). Fútbol: bases científicas para un óptimo rendimiento. Ergon.
- Maughan, R. J., Gleeson, M., & Greenhaff, P. L. (1997). *Biochemistry of exercise and training*. Oxford University Press, USA.

- Mayhew, S. R., & Wenger, H. A. (1985). Time-motion analysis of professional soccer. *Journal of Human Movement Studies*, 11(1), 49-52.
- Mesa, J. L., Ruiz, J. R., González-Gross, M. M., Sáinz, Á. G., & Garzón, M. J. C. (2002). Oral creatine supplementation and skeletal muscle metabolism in physical exercise. *Sports Medicine*, 32(14), 903-944.
- Messonnier, L., Kristensen, M., Juel, C., & Denis, C. (2007). Importance of pH regulation and lactate/H<sup>+</sup> transport capacity for work production during supramaximal exercise in humans. *Journal of applied physiology*, 102(5), 1936-1944.
- Mohr, M., Krstrup, P., & Bangsbo, J. (2005). Fatigue in soccer: a brief review. *Journal of sports sciences*, 23(6), 593-599.
- Morán Bermejo, M. (2006). Tipos de fibras musculares. López Chicharro José, Fernández Vaquero Almudena. *Fisiología del ejercicio*. 3era edición. Madrid. Editorial Médica Panamericana, 93-97.
- Nagai, K., Nijima, A., Yamano, T., Otani, H., Okumra, N., Tsuruoka, N., ... & Kiso, Y. (2003). Possible role of L-carnosine in the regulation of blood glucose through controlling autonomic nerves. *Experimental biology and medicine*, 228(10), 1138-1145.
- Nordsborg, N., Mohr, M., Pedersen, L. D., Nielsen, J. J., Langberg, H., & Bangsbo, J. (2003). Muscle interstitial potassium kinetics during intense exhaustive exercise: effect of previous arm exercise. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 285(1), R143-R148.
- O'Donoghue P. (2001). Time-motion analysis of work rate in elite soccer. In: Tavares Mha F, editor. *Notational analysis of sport IV: Centre for Team Sports Studies*. Porto: Faculty of Sport Sciences and Physical Education, University of Porto, 65-70.
- O'Dowd, A., O'Dowd, J. J., & Miller, D. J. (1996). The dipeptide carnosine constricts rabbit saphenous vein as a zinc complex apparently via a serotonergic receptor. *The Journal of physiology*, 495(2), 535-543.
- Osnes, J. B., & Hermansen, L. A. R. S. (1972). Acid-base balance after maximal exercise of short duration. *Journal of Applied Physiology*, 32(1), 59-63.
- Pate RR, Kriska A. (1984). Physiological basis of the sex difference in cardiorespiratory endurance. *Sports Med*; 1: 87-98
- Powers, S. K., & Jackson, M. J. (2008). Exercise-induced oxidative stress: cellular mechanisms and impact on muscle force production. *Physiological reviews*, 88(4), 1243-1276.
- Rampinini, E., Bishop, D., Marcora, S. M., Bravo, D. F., Sassi, R., & Impellizzeri, F. M. (2007). Validity of simple field tests as indicators of match-related physical performance in

- top-level professional soccer players. *International Journal of Sports Medicine*, 28(03), 228-235.
- Robergs, R. A., Ghiasvand, F., & Parker, D. (2004). Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 287(3), R502-R516.
  - Robergs RA, Ghiasvand F, Parker D (2004). Biochemistry of exerciseinduced metabolic acidosis. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 287(3):R502-516
  - Rodríguez, F. R., Ormeño, A. D., Lobos, P. R., Aranda, V. T., & Cristi-Montero, C. (2014). Efectos de la suplementación con  $\beta$ -alanina en tests de Wingate en jugadoras universitarias de fútbol femenino. *Nutrición Hospitalaria*, 31(n01).
  - Ririe, D. G., Roberts, P. R., Shouse, M. N., & Zaloga, G. P. (2000). Vasodilatory actions of the dietary peptide carnosine. *Nutrition*, 16(3), 168-172.
  - Sahlin, K., & Harris, R. C. (2011). The creatine kinase reaction: a simple reaction with functional complexity. *Amino acids*, 40(5), 1363-1367.
  - Sale, C., Saunders, B., & Harris, R. C. (2010). Effect of beta-alanine supplementation on muscle carnosine concentrations and exercise performance. *Amino acids*, 39(2), 321-333.
  - Saunders, B., Sunderland, C., Harris, R. C., & Sale, C. (2012). beta-alanine supplementation improves YoYo intermittent recovery test performance. *J Int Soc Sports Nutr*, 9(1), 39.
  - Sawka, M. N., & Montain, S. J. (2000). Fluid and electrolyte supplementation for exercise heat stress. *The American journal of clinical nutrition*, 72(2), 564s-572s.
  - Shen, J., Yao, J. F., Tanida, M., & Nagai, K. (2008). Regulation of sympathetic nerve activity by L-carnosine in mammalian white adipose tissue. *Neuroscience letters*, 441(1), 100-104.
  - Shephard RJ. (1999). Biology and medicine of soccer: an update. *J Sports Sci*; 17: 757-86
  - Skaper SD, Das S, Marshall FD. Some properties of a homocarnosineYcarnosine synthetase isolated from rat brain. *J Neurochem* 1973; 21: 1429-45.
  - Skare, O. C., Skadberg, Ø., & Wisnes, A. R. (2001). Creatine supplementation improves sprint performance in male sprinters. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 11(2), 96-102.
  - Smaros, G. (1980). Energy usage during a football match. In *Proceedings of the 1st International Congress on Sports Medicine Applied to Football* (Vol. 11, pp. 795-801). Rome: D. Guanello.
  - Smith, A. E., Walter, A. A., Graef, J. L., Kendall, K. L., Moon, J. R., Lockwood, C. M., ... & Stout, J. R. (2009). Effects of  $\beta$ -alanine supplementation and high-intensity interval training

on endurance performance and body composition in men; a double-blind trial. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 6(1), 1-9.

- Smith-Ryan, A. E., Fukuda, D. H., Stout, J. R., & Kendall, K. L. (2012). High-velocity intermittent running: effects of beta-alanine supplementation. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(10), 2798-2805.
- Smodlaka, V. J. (1978). Cardiovascular aspects of soccer. *Phys. Sports Med*, 6, 66-70.
- Spriet LL, Lindinger MI, McKelvie RS, Heigenhauser GJ, Jones NL (1989). Muscle glycogenolysis and H<sup>+</sup> concentration during maximal intermittent cycling. *Journal of applied physiology*, 66(1):8-13
- Sterlingwerff T, Decombaz J, Harris RC, Boesch C. Optimizing human in vivo dosing and delivery of β-alanine supplements for muscle carnosine synthesis. *Amino Acids* 2012; 43(1): 57-65.
- Stølen, T., Chamari, K., Castagna, C., & Wisløff, U. (2005). Physiology of soccer. *Sports medicine*, 35(6), 501-536.
- Stout, J. R., Cramer, J. T., Zoeller, R. F., Torok, D., Costa, P., Hoffman, J. R., ... & O'kroy, J. (2007). Effects of β-alanine supplementation on the onset of neuromuscular fatigue and ventilatory threshold in women. *Amino acids*, 32(3), 381-386.
- Suzuki, Y., Ito, O., Mukai, N., Takahashi, H., & Takamatsu, K. (2002). High level of skeletal muscle carnosine contributes to the latter half of exercise performance during 30-s maximal cycle ergometer sprinting. *The Japanese journal of physiology*, 52(2), 199-205.
- Sweeney, K. M. Wright gA, Brice Ag, Doberstein St (2010) the effect of β-alanine supplementation on power performance during repeated sprint activity. *J Strength cond*, 24, 79-87.
- Tanida, M., Nijima, A., Fukuda, Y., Sawai, H., Tsuruoka, N., Shen, J., ... & Nagai, K. (2005). Dose-dependent effects of L-carnosine on the renal sympathetic nerve and blood pressure in urethane-anesthetized rats. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 288(2), R447-R455.
- Terrados, N. & Calleja-González, J. (2008). *Fisiología, entrenamiento y medicina del baloncesto*. Barcelona: editorial Paidotribo.
- Tobias, G., Benatti, F. B., de Salles Painelli, V., Roschel, H., Gualano, B., Sale, C., ... & Artioli, G. G. (2013). Additive effects of beta-alanine and sodium bicarbonate on upper-body intermittent performance. *Amino Acids*, 45(2), 309-317.
- Trivedi, B., & Danforth, W. H. (1966). Effect of pH on the kinetics of frog muscle phosphofructokinase. *Journal of Biological Chemistry*, 241(17), 4110-4114.
- Tumilty D. (1993). Physiological characteristics of elite soccer players. *Sports Med*; 16: 80-96

- Van Thienen, R. V., Van Proeyen, K., Vanden Eynde, B., Puype, J., Lefere, T., & Hespel, P. (2009). b-Alanine improves sprint performance in endurance cycling. *Med Sci Sports Exerc*, 41(4), 898-903.
- Viana-Montaner, B. H., Gómez-Puerto, J. R., Centeno-Prada, R., Beas-Jiménez, J. D., Melero-Romero, C., & Da Silva-Grigoletto, M. E. (2009). Comparación del VO<sub>2</sub>máx y del tiempo hasta el agotamiento en dos modalidades de ejercicio en triatletas. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 2(1), 7-11.
- Wallimann, T., Tokarska-Schlattner, M., & Schlattner, U. (2011). The creatine kinase system and pleiotropic effects of creatine. *Amino acids*, 40(5), 1271-1296.
- Weineck, J. (2004). *Sportbiologie*. Spitta Verlag GmbH & Co. KG.
- Weineck, E. J. (1997). *Fútbol total-El entrenamiento físico del futbolista (Vol. I)*. Barcelona: Editorial Paidotribo.
- White, J. E., Emery, T. M., Kane, J. E., Groves, R., & Risman, A. B. (1988). Pre-season fitness profiles of professional soccer players. *Science and football*, 164-171.
- Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (2004). *Fisiología del esfuerzo y del deporte*. Editorial Paidotribo.
- Wilson, J. M., Wilson, G. J., Zourdos, M. C., Smith, A. E., & Stout, J. R. (2010). Beta-alanine supplementation improves aerobic and anaerobic indices of performance. *Strength & Conditioning Journal*, 32(1), 71-78.
- Zoeller, R. F., Stout, J. R., O'kroy, J. A., Torok, D. J., & Mielke, M. (2007). Effects of 28 days of beta-alanine and creatine monohydrate supplementation on aerobic power, ventilatory and lactate thresholds, and time to exhaustion. *Amino acids*, 33(3), 505-510.
- Zubillaga, A. (2006). *La actividad del jugador de fútbol en alta competición: análisis de variabilidad*. Málaga: Universidad de Málaga, Facultad de Psicología [Tese de Doutoramento].