



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Facultad de Ciencias de la Salud

VALORACIÓN BIOQUÍMICA DEL ENTRENAMIENTO DEPORTIVO

Alumno: Barreno Bazán, Ángel

Tutor: Martínez Lara, Esther

Dpto: Biología Experimental

ÍNDICE

RESUMEN.....	3
ABSTRACT	4
INTRODUCCIÓN	5
OBJETIVOS.....	10
MÉTODOS.....	10
Bases de datos y fuentes de información	10
Evaluación de la calidad metodológica de los artículos encontrados	11
RESULTADOS	12
Selección de artículos	12
Calidad metodológica de los resultados	13
DISCUSIÓN	19
CONCLUSIÓN	25
BIBLIOGRAFÍA.....	27

1. RESUMEN

Objetivo: El objetivo de esta revisión bibliográfica es analizar los cambios producidos en el organismo comparando los valores obtenidos de los diferentes biomarcadores en deportistas y en deportistas sometidos a un sobreentrenamiento.

Material y métodos: La búsqueda se realizó en la base de datos Pubmed y MedLine, con las palabras clave “biochemical markers and training” y “overtraining”. Se eligieron estudios publicados desde 2011 hasta 2022. En estos estudios se evalúan diferentes marcadores bioquímicos en diferentes tipos de deportistas. Para valorar la calidad metodológica se utilizaron las escalas “PEDro” y “JADAD”.

Resultados: Tras la búsqueda se seleccionaron 8 artículos de los 112 ya encontrados siguiendo los criterios de inclusión y exclusión. Estos estudios nos aportaron información de diferentes tipos de marcadores bioquímicos aplicados a deportes: aeróbicos y anaeróbicos o en concreto ciclismo, fútbol y voleibol.

Conclusiones: Existen diferencias en las concentraciones de biomarcadores como el Lactato, la Creatina Quinasa, la Creatinina y Leucocitos en deportistas en comparación con personas que no realizan deporte, en las que se observan variaciones en marcadores bioquímicos que se traducen en beneficios en la salud de los que realizan algún entrenamiento físico, tiene lugar un efecto contrario en los deportistas sometidos a un sobreentrenamiento, en los que los valores de los biomarcadores analizados presentan efectos negativos para la salud de los deportistas.

Palabras clave: “Training”, “Overtraining” y “Biochemical markers”.

2. ABSTRACT

- **Objective:** The goal of this bibliographic revision is to analyze the changes generated in the organism comparing the values obtained from different biomarkers in athletes and in overtrained athletes.
- **Material and methods:** The search was realized in the database Pubmed and MedLine with the key words “biochemical markers and training” and “overtraining”. Studies published from 2011 to 2022 were chosen. In these studies, different biochemical markers were evaluated in different kinds of athletes. To value the methodological value, the scales used were “PEDro” and “JADAD”.
- **Results:** After the research, 8 articles from the 112 already published were selected following the inclusion and exclusion standard. These studies provided us with information about different kinds of biochemical markers applied in sports: aerobic and anaerobic or specifically cycling, soccer and volleyball.
- **Conclusions:** There are differences in the concentration of different biomarkers as Lactate, Creatine Kinase, Creatinine and Leukocytes in athletes compared to people who do not do sports, in which variations are observed in biochemical markers that translate into health benefits for those who do some physical, a contrary effect takes place in the athletes that are subjected to overtraining, whose biochemical markers analyzed show negative effects for these athletes’ health.
- **Key words:** “Training”, “Overtraining” and “Biochemical markers”.

3. INTRODUCCIÓN

El entrenamiento deportivo se define como un proceso complejo de actividades dirigido al desarrollo planificado de ciertos estados de rendimiento deportivo y a su exhibición en situaciones de competición (Dietrich Martin et al., 2019).

Su principal objetivo es la mejora del estado general del individuo, no se limita a mejorar la fuerza, resistencia o velocidad del mismo, sino que busca un cambio general del atleta en el que podamos notar diferencias tanto a nivel nutricional, como físico y mental. Todos estos cambios producidos por los diferentes biomarcadores que iremos abordando y en la concentración de los mismos, viendo como un aumento o un descenso de estos pueden ocasionar diferentes reacciones en el organismo.

La realización de una valoración bioquímica actualmente es esencial para el correcto análisis del estado del cuerpo del individuo ya sea con el fin de valorar su salud o con el fin de diagnosticar situaciones que contraindiquen y/o restrinjan el entrenamiento deportivo, ya que la información que nos aportan sus datos nos informa de posibles desequilibrios nutricionales y hormonales. Es necesario conocer los valores normales de cada parámetro bioquímico de cada individuo y compararlo con los valores tras realizar un ejercicio intenso (Urdampilleta et al., 2014) Estas fluctuaciones con respecto a los valores recogidos durante un periodo de reposo son las que nos informan si existe algún desequilibrio.

Estos parámetros bioquímicos sirven como biomarcadores que nos permiten conocer el estado de la musculatura activa mediante un método no invasivo, consiguiendo así el máximo rendimiento deportivo evitando posibles variaciones bioquímicas que supongan grandes desequilibrios y futuras consecuencias en el cuerpo del individuo, pudiendo descartar así anemias reales o pseudoanemias causadas por la adaptación al entrenamiento en las primeras fases de iniciación al deporte. Además, también es muy importante conocer el estado de los órganos, un mal funcionamiento de los mismos puede estar causado por una mala alimentación o por una deshidratación.

Para medir estos biomarcadores y saber su concentración en el organismo del individuo podemos realizar análisis de sangre y de orina y mediante ellos valorar el estado del deportista según la concentración de los diferentes biomarcadores.

En cuanto a los análisis sanguíneos es esencial que se practique en ayunas, se suele hacer a primera hora de la mañana, tras un día de reposo previo. La dieta que se debe llevar los días previos a este análisis debe ser homogénea para no alterar los valores.

Una vez realizado el análisis debemos interpretar correctamente los valores obtenidos y distinguir entre los procesos de adaptación normal a la actividad física y los valores que pueden significar efectos patológicos o mal adaptativos en el individuo.

- **Análisis de sangre:** Es un sistema fiable y poco invasivo para la toma de diferentes muestras con el fin de valorar determinados parámetros bioquímicos del deportista, los principales son Creatin Quinasa (CK), Creatinina y linfocitos sin la necesidad de utilizar métodos más invasivos.

Creatina Quinasa (CK): Es una enzima que proviene principalmente de la musculatura esquelética y por eso se encuentra en bajos niveles en sangre, se utiliza para detectar daño muscular como inflamación o rotura que causen un problema en la producción o consumo de energía del músculo, viendo reflejado esto con aumentos de sus valores en la analítica.

Creatinina: Se utiliza principalmente para analizar el funcionamiento de los riñones al momento de filtrar los desechos de la sangre, es un producto del metabolismo de la creatina muscular. Si el individuo se encuentra sano, sus riñones deberían filtrar la creatinina de la sangre y expulsarla mediante la orina, por ello si vemos valores altos del mismo en sangre debemos sospechar de un problema en la filtración de los riñones.

- **Lactato deshidrogenasa (LDH):** Es un tipo de proteína que se encuentra en casi todos los tejidos del cuerpo, y sus valores son utilizados para la detección de daño tisular.
- **Ácido Láctico o Lactato:** Es el metabolito más empleado en el deporte para el control de la intensidad de los entrenamientos, así como para determinar la adaptación del deportista. Además, es muy eficiente a la hora de valorar ya que es muy fácil de manejar y muy accesible con los pulsómetros
- **Triptófano:** Es un aminoácido esencial para nuestro organismo, por lo que no podemos producirlo y debemos obtenerlo mediante la ingesta de alimentos, se utiliza sobre todo en el crecimiento y en la producción y mantenimiento de proteínas, músculos y neurotransmisores.

- **Linfocitos:** Son un tipo de célula inmunitaria la cual se encarga de la defensa del organismo, se encuentra en la sangre y en el tejido linfático. Son utilizados en los análisis de deportistas para prever estados de enfermedad y evitar así una interrupción del entrenamiento, se detectan mediante un recuento sanguíneo completo o hemograma, detectando así que si existen niveles altos de linfocitos puede que exista una infección.
- **Análisis de orina:** Es un sistema no invasivo, pero con un poco menos de fiabilidad que el método descrito anteriormente, mediante el análisis de orina podemos determinar los diferentes valores de marcadores como la urea, creatinina y el grado de concentración de proteínas en la orina.

Urea: Es un producto final del metabolismo de las proteínas. Que los valores de urea se eleven o desciendan depende de: su eliminación por sudoración y micción, cantidad de proteínas obtenidas mediante la ingesta de alimentos, velocidad de la glucogénesis y concentración de glucógeno muscular. El aumento de urea es un indicativo de la cantidad de proteína catabolizada.

Proteínas: Las funciones de las proteínas en nuestro organismo son muy variadas, se utilizan como transporte (hemoglobina), estructural (glucoproteínas), dar elasticidad y resistencia a los órganos (colágeno y elastina) ... Todos estos procesos son necesarios a la hora de realizar cualquier actividad para un individuo. La presencia de proteínas en la orina es normal dentro de unos valores (0-14mg/dL), pero si vemos una cantidad mayor podemos sospechar de problemas renales.

En diferentes tipos de deportes en los que las categorías están divididas por peso, como por ejemplo la gimnasia rítmica o el patinaje, los deportistas se someten a entrenamientos y dietas muy estrictas para llegar a un determinado pesaje adecuado para su categoría.

Para realizar una intervención dietético-nutricional es necesario conocer previamente los parámetros bioquímicos, especialmente en estos tipos de deporte debido a que el cuerpo del deportista es sometido a cambios dietéticos con consecuencias en su metabolismo, causando así posibles descompensaciones en la bioquímica del organismo, los deportistas se someten en algunas ocasiones a dietas hipocalóricas a veces, muy bajas en hidratos de carbono junto a entrenamientos muy

intensos, no solo influye el aspecto alimenticio en las fluctuaciones de los biomarcadores sino que la alta exigencia a la que están sometidos diariamente debido al compromiso que conlleva el implicarse profesionalmente a un deporte ocasiona periodos de estrés mental que afectan al metabolismo del deportista, lo que puede comprometer su rendimiento deportivo, así como su salud, incluyendo el sistema inmunológico. (Urdampilleta et al., 2014).

Para asegurarnos de que el programa de entrenamiento y los cambios dietéticos son los correctos para el cuerpo del deportista y si el mismo lo tolera correctamente, se realizan estos análisis. Además, debemos conocer qué vías energéticas han sido las principales durante el periodo de entrenamiento. Toda esta información es fundamental para el equipo de profesionales que hay detrás de cada deportista de élite (nutricionistas, fisioterapeutas, psicólogos...), los cuales a partir de estos datos pueden observar diferentes estados catabólicos y ayudar a que aumenten los anabólicos para una mayor producción de energía disponible para el entrenamiento (Marqués-Jiménez et al., 2016).

Al existir tanta diferencia entre los valores bioquímicos de cada individuo en cada deporte diferente hay que ser muy cauteloso a la hora de analizar y valorar los resultados obtenidos en los diferentes análisis bioquímicos, por lo que se recomienda que estos análisis se realicen siguiendo el mismo protocolo utilizado en análisis previos, para así evitar cualquier fluctuación posible que pueda falsear un resultado. La valoración nutricional requiere enfocar los resultados en función de: edad, sexo, antecedentes personales (y familiares), constitución, tipo y grado de acondicionamiento físico; considerando también el periodo de la temporada en que se encuentra, la modalidad deportiva practicada, así como los datos obtenidos en analíticas sanguíneas previas. (Urdampilleta et al., 2013).

Abordaremos temas como el “sobre-entrenamiento” y los efectos y cambios que causa en el individuo, así como los biomarcadores más destacados y que más fluctúan durante la práctica del mismo. Se define como un entrenamiento excesivo o superior a las capacidades del atleta que resulta en una fatiga prolongada y en un descenso de su rendimiento deportivo cuando realmente se busca lo contrario, un aumento del mismo. También se puede definir como un estancamiento del rendimiento del deportista, exceso de alcance o agotamiento excesivo. (Gleeson, 2002) No solamente influye el factor del tipo de entrenamiento o la extralimitación a la que se vea sometida el atleta, sino que factores como la nutrición y su salud psicológica son también muy influyentes.

Los factores fisiológicos y síntomas psicológicos asociados a casos confirmados de sobreentrenamiento se muestran en la **Tabla 1:**

Tabla 1. Efectos fisiológicos y cambios psicológicos asociados con el sobreentrenamiento.

- Pérdida de apetito
- Dolor muscular
- Aumento de la FC (Frecuencia cardíaca) en las primeras horas del día o durante el sueño.
- Infecciones recurrentes
- Trastornos gastrointestinales
- Bajo rendimiento
- Alteración del sueño
- Fatiga crónica
- Estados de ánimo alterados (p. ej., puntuaciones bajas de vigor; aumento de las puntuaciones de fatiga y depresión)

En algunas personas el sobreentrenamiento causa un desequilibrio subyacente en el organismo del individuo similar a la fiebre o a un tipo de síndrome de fatiga posviral, cursa con una caída de los glóbulos blancos circulantes (leucocitos), lo que a menudo suele estar asociado y ser un indicativo de una infección viral. Estos valores de recuentos bajos de leucocitos en sangre son comúnmente encontrados en atletas involucrados en atletas con un entrenamiento de alta intensidad. En atletas que sufren del síndrome de sobreentrenamiento a menudo se diagnostican como inmunodeprimidos.

Por lo tanto, algunos de estos y otros cambios bioquímicos que son comúnmente asociados con el entrenamiento intenso se han propuesto como marcadores potenciales de sobreentrenamiento inminente. En otras palabras, esta sensibilidad del sistema inmunitario a los cambios en la carga de entrenamiento y otras formas de estrés podrían proporcionar un medio para evaluar la capacidad de un atleta para hacer frente a un entrenamiento intenso y por lo tanto proporcionar una forma de identificar a los individuos que están al borde del sobreentrenamiento.

4. OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo es conocer los biomarcadores más importantes y que más cambios experimentan durante el entrenamiento deportivo.

También analizaremos los biomarcadores en el sobreentrenamiento para saber cómo detectarlo mediante las concentraciones de los mismos, conocer los efectos que produce en el atleta y poder detectar una extralimitación en el individuo para poder organizar un plan de entrenamiento conforme a sus capacidades.

5. MÉTODOS

5.1 Bases de datos y fuentes de información

Se ha realizado una búsqueda en las webs de investigación, Medline y PubMed con las palabras clave “biochemical markers and training” y “overtraining” (Marcadores bioquímicos y entrenamiento) (Sobreentrenamiento).

La búsqueda en las bases de datos mencionadas con anterioridad tuvo lugar entre los meses de marzo y abril de 2022, teniendo en cuenta que los estudios no tuviesen una antigüedad superior a los 15 años (fecha límite de búsqueda 2007-2022)

Los descriptores utilizados fueron los mismos en todas las bases de datos, mientras que los filtros que se introdujeron fueron “sobreentrenamiento”, “entrenamiento”, “recuperación metabólica”, “15 años”, “Revisiones sistemáticas”, según nos permitiese cada base de datos.

Todos los estudios que se han incluido en este trabajo informan de las diferentes variaciones que se dan en los biomarcadores del organismo durante la realización de algún tipo de ejercicio deportivo en poblaciones diferentes (hombres y mujeres de diferentes edades y disciplinas deportivas)

Se establecieron los siguientes criterios de inclusión y exclusión para la selección de los estudios

CRITERIOS DE INCLUSION

- **Tipo de estudio:** ensayos clínicos aleatorizados y controlados y revisiones sistemáticas.
- **Periodo de publicación:** todos aquellos estudios publicados desde 2007 a 2022
- **Tipo de Intervención:** cualquier tipo de intervención en la que se hayan comparado los biomarcadores en los periodos previos al ejercicio, durante el ejercicio y después del mismo.
- **Tipo de participantes:** Sujetos masculinos y femeninos de diferentes edades y de diferentes disciplinas deportivas.

CRITERIOS DE EXCLUSION

Han sido excluidos los ensayos clínicos no aleatorizados y/o no controlados, las revisiones no sistemáticas, estudios sin evidencia científica, aquellos estudios que no estuviesen publicados en inglés o en español y aquellos que fueron publicados con fecha anterior al 2007.

Fueron descartados también todos aquellos artículos que estaban duplicados por otras bases de datos, así como los que no cumplían los criterios de inclusión tanto en el resumen como en el estudio.

5.2 Evaluación de la calidad metodológica de los artículos encontrados:

Para la evaluación de los artículos encontrados se han utilizado tanto la Escala JADAD, como la escala PEDro.

- **Escala JADAD:**

Escala que se desarrolló con el objetivo de evaluar la calidad de ensayos clínicos aleatorizados sobre el dolor. Se trata de un cuestionario sencillo, con solo 5 preguntas que hacen referencia a la aleatorización, enmascaramiento de los pacientes e investigador ante el tratamiento y descripción de las pérdidas o bajas causadas a lo largo del estudio. La puntuación puede oscilar entre 0 (calidad débil del estudio) y 5 (buena calidad) puntos. Un ensayo con una puntuación inferior a 3 sería considerado un estudio de pobre o baja calidad.

Los resultados de la escala JADAD se muestran en la **Tabla 2**.

➤ Escala PEDro:

Se trata de una escala con 11 ítems que se diseñó con el objetivo de valorar y calificar la calidad metodológica de los ECAs. La Escala “Physiotherapy Evidence Database (PEDro)” tiene su puntuación máxima sobre 10 y no sobre 11 ya que el primer criterio, al valorar únicamente la validez externa del estudio no es puntuado.

Los criterios 2-9 son los encargados de hacer referencia a la validez interna del estudio y los criterios 10-11 son aquellos que proporcionan la información estadística que permite la interpretación de los resultados. Algunos autores, llegaron a la conclusión de que aquellos estudios con una puntuación de 9-10, sería calificados como excelentes, los que tuvieran una puntuación de 6-8 en la escala PEDro, se considerarían de buena calidad, aquellos con una puntuación de 4-5, serán de regular calidad y los que obtuvieran una puntuación menor de 4, serían calificados como estudios de mala calidad.

6. RESULTADOS

6.1 Selección de artículos

Para la realización de este trabajo se utilizaron las bases de datos PubMed y Medline, utilizando palabras clave como “biochemical markers and training” y “overtraining”, una vez utilizadas estas bases nos encontramos con una gran cantidad de artículos (21595), aplicando los criterios de exclusión nombrados previamente nos quedamos con 112 artículos, de los cuales se han seleccionado 8 por su contenido relacionado con este trabajo y por la alta similitud que había entre los diferentes artículos, por lo que finalmente han sido seleccionados esos artículos como principales, pese que se han utilizados otros como aclaración o complementación de algunas partes del proyecto (Figura 2).

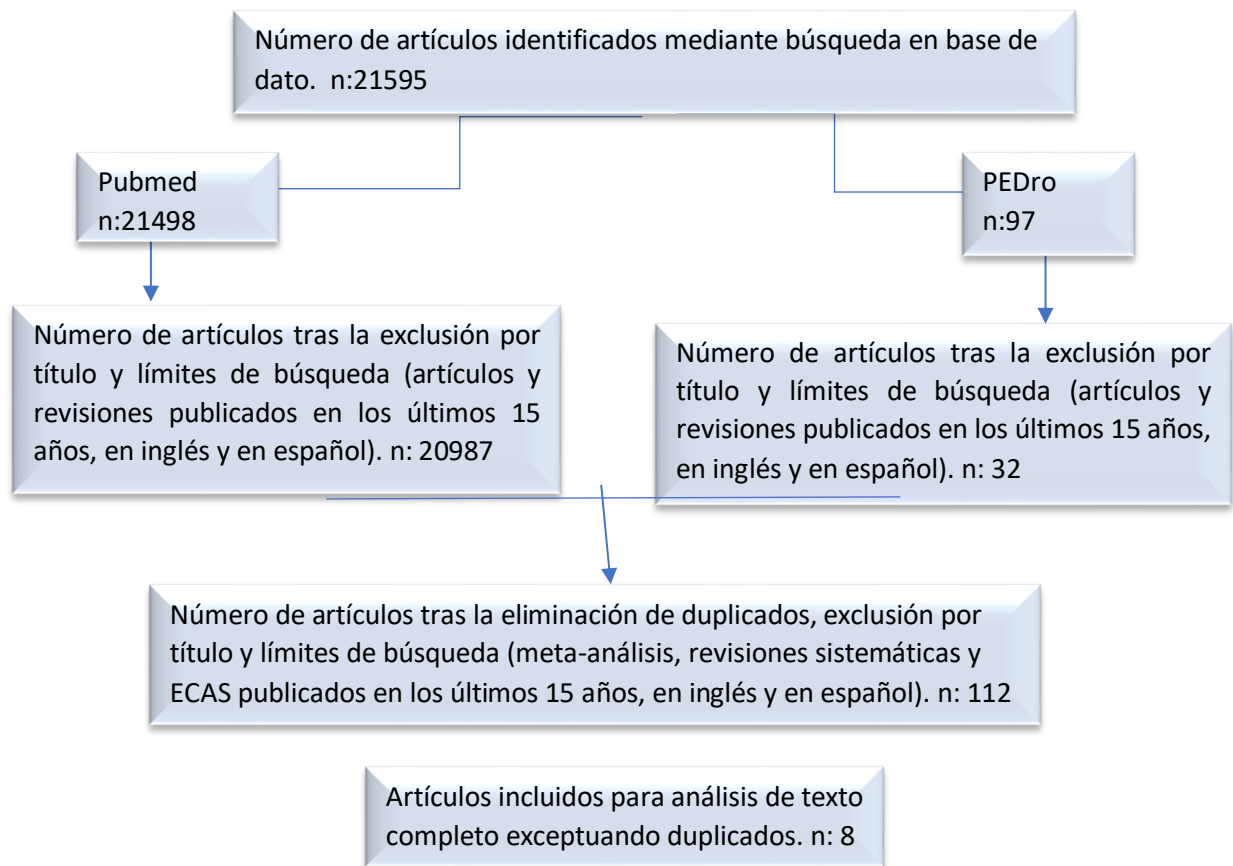


Figura 2. Diagrama de flujo

6.2 Calidad metodológica de los resultados

Según la escala JADAD, cuatro artículos de los siete elegidos tenían una puntuación de 3 sobre 5; tres de los ensayos obtuvieron una puntuación de 4 sobre 5.

Las puntuaciones recibidas por cada artículo de esta revisión según la escala JADAD están registradas en la Tabla 2

Tabla 2. ESCALA JADAD

REFERENCIA	¿El estudio se describe como randomizado?	¿Se describe el método de randomización y es adecuado?	¿El estudio se describe como doble ciego?	¿Se describe el método de cegamiento y es adecuado?	¿Hay descripción de las pérdidas de seguimiento y abandono?	PUNTOS
(Urdampilleta et al., 2014)	SI	SI	NO	NO	SI	3/5
(Urdampilleta et al., 2013)	SI	SI	NO	SI	SI	4/5
(Marqués-Jiménez et al., 2016)	SI	SI	NO	SI	SI	4/5
(McGuigan et al., 2020)	SI	SI	NO	NO	SI	3/5
(Jürimäe et al., 2011)	SI	SI	NO	SI	SI	4/5
(Gleeson, 2002)	SI	SI	NO	NO	SI	3/5
(Beltrán et al., 2020)	SI	SI	NO	SI	SI	3/5

Según la escala PEDro, tres artículos de los siete elegidos tenían una puntuación de 7 sobre 10; tres de los ensayos obtuvieron una puntuación de 8 sobre 10 y el último restante una puntuación de 6 sobre 10. Las puntuaciones recibidas por cada artículo de esta revisión según la escala PEDro están registradas en la Tabla 3.

Tabla 3. ESCALA PEDro

REFERENCIA	Asignación aleatoria	Ocultación de la asignación	Grupos homogéneos al principio	Cegamiento de los participantes	Cegamiento de los terapeutas	Cegamiento de los evaluadores	Seguimiento adecuado	Análisis por intención de tratar	Comparación entre grupos	Variabilidad y puntos estimados	PUNTOS
(Urdampilleta et al., 2014)	SI	SI	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	6/10
(Urdampilleta et al., 2013)	SI	SI	NO	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	7/10
(Marqués-Jiménez et al., 2016)	SI	NO	NO	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	7/10
(McGuigan et al., 2020)	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	8/10
(Jürimäe et al., 2011)	SI	SI	NO	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	7/10
(Gleeson, 2002)	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	8/10
(Beltrán et al., 2020)	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	8/10

REFERENCIA	MARCADORES PRINCIPALES	TIPO DE ACTIVIDAD FÍSICA	MOMENTO DE LA INTERVENCIÓN (ANTES, DURANTE O DESPUÉS DEL ENTRENAMIENTO)	EDAD Y SEXO DE PARTICIPANTES	RESULTADO VARIACIONES DE LOS BIOMARCADORES
(Urdampilleta et al., 2014)	<ul style="list-style-type: none"> - Urea - Colesterol HDL y LDL - Triglicéridos - Glucosa 	Entrenamiento aeróbico y anaeróbico	Se comparan resultados en momentos antes de realizar el entrenamiento con después de realizarlo	<p>Dos grupos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Deportistas de diferentes edades y sexo - No Deportistas de diferentes edades y sexo 	<ul style="list-style-type: none"> - Urea: Los valores normales de urea en sangre son de 12-54 mg/dL, en deportistas estos valores aumentan por el aumento de descomposición de proteínas causado por el esfuerzo 84-117 mg/dl - Colesterol HDL y LDL: Los valores normales de HDL son 35-85mg/dL y los de LDL son 60-150mg/dL. El HDL aumenta con deporte aeróbico (50-100mg/dL) reduciendo el riesgo de enfermedades cardiovasculares. El LDL disminuye con deporte aeróbico (40-130mg/dl) pero aumenta en casos de deporte muy intenso o si lo practicamos en lugares de gran altitud, debido al estrés oxidativo. - Triglicéridos: Los valores normales son de 35-170mg/dL con la práctica de ejercicios aeróbicos de larga duración bajan considerablemente (70-100mg/dL), pero con el abuso de alcohol o azúcares se elevan - Glucosa: Los valores normales son 70-100mg/dL, pero en deportistas los niveles son más bajos debido a su bajo contenido en grasa corporal, suelen estar en los 80mg/dL, los valores son aún más bajos en deportistas de resistencia
(Urdampilleta et al., 2013)	<ul style="list-style-type: none"> - Creatinina - Amoniaco - Alanina - Creatin Quinasa 	Ciclismo	Se comparan resultados en momentos antes de realizar el entrenamiento con después de realizarlo	<p>Dos grupos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ciclistas masculinos - Hombres que no realizan deporte 	<ul style="list-style-type: none"> - Creatinina: La media en sedentarios está en 1mg/dL y en ciclistas aumenta a 1,1mg/dL ya que hay más masa muscular. - Amoniaco: Los valores normales son 11-32 $\mu\text{mol/L}$, en ciclistas aumenta, y serían de 11-48 $\mu\text{mol/L}$

					<ul style="list-style-type: none"> - Alanina: Los valores normales en un hombre son 4-36 U/L, en ciclistas aumentan 5-55 U/L
(Marqués-Jiménez et al., 2016)	<ul style="list-style-type: none"> - Creatina Quinasa (CK) - Interleucina 6 (IL-6) - Lactato deshidrogenasa 	Fútbol	Se comparan resultados en momentos antes de realizar el entrenamiento con después de realizarlo	<p>Dos grupos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Futbolistas de 1era división - Población normal 	<ul style="list-style-type: none"> - CK: Los valores alcanzan su máximo en los futbolistas después de las 6-24h post-ejercicio (83-1492 U/L) los valores normales son de 0,7-1,2 mg/dL. - IL-6: Los valores normales son 0.17-1.83 pg/mL. En el fútbol aumenta inmediatamente hasta 2 o 4 veces más después del partido, pero desciende rápidamente hacia los niveles de prepartido y se normaliza generalmente a las 24-48 horas. - LDH: Los valores normales se encuentran en 138 U/L. los incrementos máximos se encuentran a las 48h después del partido (149,7 U/L) pudiendo mantenerse incluso hasta las 72h.
(McGuigan et al., 2020)	<ul style="list-style-type: none"> - Lactato 	Deporte anaeróbico	Se comparan resultados entre valores normales de deportistas y de personas sedentarias	<p>Dos grupos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sedentarios - Deportistas 	<ul style="list-style-type: none"> - Lactato: Los valores normales de lactato son inferiores a 2mmol/L, los niveles de lactato aumentan conforme más intensa sea la actividad que realiza el deportista por eso los valores pueden variar y llegar hasta los 30 mmol/L.
(Jürimäe et al., 2011)	<ul style="list-style-type: none"> - Leptina - Adiponectina 	Deporte en general	Se comparan resultados en momentos antes de realizar el entrenamiento con después de realizarlo	<p>Dos grupos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Deportistas - Sedentarios 	<ul style="list-style-type: none"> - Leptina: Los valores varían según el peso de la persona, suponiendo que tenga un IMC entre 18,5 y 24,9 (peso normal o saludable), la leptina toma unos valores 1-15ng/ml. En deportistas la leptina desciende llegando a no sobrepasar los 10ng/ml dependiendo del peso del individuo. - Adiponectina: Al igual que la Leptina varía según el IMC, si tomamos el mismo que antes como referencia sus valores normales están en 1,9-20µg/mL. En deportistas también descienden los niveles estando en torno a los 9 µg/mL.

(Gleeson, 2002)	<ul style="list-style-type: none"> - Linfocitos - Cortisol - Urea - Neutrófilos - Glutamina - Lactato 	Entrenamiento normal y sobreentrenamiento	Se comparan resultados post-entrenamiento	<p>Dos grupos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Deportistas sometidos a un entrenamiento adecuado - Deportistas sometidos a un sobreentrenamiento 	<ul style="list-style-type: none"> - Linfocitos: El rango normal en deportistas suele estar por debajo de lo normal (1000-4500 linfocitos en 1 μL de sangre), pero en los deportistas que se someten a un sobreentrenamiento este recuento baja aún más 1000-4200 linfocitos en 1 μL de sangre, siendo aún menor en casos de deportistas de resistencia. - Cortisol: Los valores normales en deportistas post-entrenamiento son de 160-720 μg/L, pero en deportistas que se someten a un sobreentrenamiento podemos ver como aumentan los niveles debido a un aumento de estrés, los valores rondan los 160-750 μg/mL. - Neutrófilos: Los valores normales en deportistas están entre 1800-7000/mL, en deportistas sometidos a un sobreentrenamiento los valores son aún más bajos. - Glutamina: Los valores normales en deportistas están entre 50-190mg/dl, en deportistas sometidos a sobreentrenamiento los valores están sobre los 100mg/dl.
(Beltrán et al., 2020)	<ul style="list-style-type: none"> - Creatina Fosfoquinasa (CPK) - Lactato 	Voleibol	Se comparan resultados en momentos antes de realizar el entrenamiento con después de realizarlo	<p>Dos grupos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Jugadoras de Voleibol - Mujeres sedentarias 	<ul style="list-style-type: none"> - CPK: Los valores normales son 33-211 U/L, al igual que la CK alcanzan su valor máximo a las 6-24h post-entrenamiento llegando a alcanzar 40-280 U/L.

Tabla 4. Comparación de los diferentes biomarcadores y sus respectivas funciones junto con las variaciones en diferentes deportes con diferentes poblaciones valorados en cada una de las referencias usadas para la realización del trabajo

7. DISCUSIÓN

A continuación, se valorarán los cambios de concentraciones mostrados en la Tabla 4 y se analizarán si son beneficiosos o perjudiciales:

- **Colesterol LDH Y HDL:** En el caso de este biomarcador debemos analizarlos por separado, en el caso del HDL, conocido comúnmente como “el colesterol bueno”, es beneficioso que aumenten sus concentraciones ya que se encargan de retirar el colesterol que se encuentra en las arterias para que así mejore su transporte y disminuir el riesgo de patologías cardíacas. En el caso del LDL, “colesterol malo”, observamos todo lo contrario pues un aumento del mismo hace que aumente la cantidad de colesterol en las arterias disminuyendo la luz de las mismas, provocando así un riesgo mayor de patologías cardíacas.
- **Linfocitos e IL- 6:** En el caso de los linfocitos vemos como disminuyen conforme más intenso es el entrenamiento, esto es debido a que por regla general en los cuerpos de los deportistas el porcentaje de grasa es mucho menor, si estos niveles de grasa son demasiado bajas se produce una disminución de la eficacia del sistema inmunológico, provocando así una disminución de los linfocitos en sangre y una mayor debilidad frente a infecciones. En el caso de la interleucina vemos como aumenta en deportistas que no están sometidos a un entrenamiento excesivo (fútbol en este caso), lo cual es beneficioso ya que aumenta la capacidad de respuesta de nuestro sistema inmunológica frente a infecciones, pero en caso de un sobreentrenamiento sus niveles descienden al igual que el de los linfocitos.
- **Neutrófilos:** El ejercicio prolongado causa una gran liberación de neutrófilos provenientes de la médula ósea, por lo que el realizar ejercicio a una intensidad demasiado elevada durante semanas o meses puede hacer que las reservas de este biomarcador se vean muy disminuidas. Esto, sumado al bajo nivel de leucocitos causa que el individuo sea mucho más susceptible a diferentes patologías y que los periodos de las mismas sean más largos.
- **Glutamina:** La cantidad de Glutamina en plasma se ve muy afectada en periodos de ejercicio prolongado causando un descenso agudo del mismo, esto no sucede en periodos cortos de ejercicio. Los descensos en los niveles de Glutamina también pueden estar causados por traumas físicos, quemaduras, infecciones e inflamaciones.

- **Creatina Quinasa y Creatina:** Estos dos biomarcadores tienen un comportamiento muy similar, ya que aumentan pasadas 6-24h del post-entrenamiento. Un aumento en la concentración supone un beneficio para el individuo, ya que aumenta la capacidad de producir energía para el músculo (Creatina), y en caso de rotura o lesión muscular es fácil detectarla debido a un aumento de la Creatina Quinasa pudiendo evitar lesiones.
- **Leptina y Adiponectina:** En este caso que su variación en la concentración sea beneficioso o no depende del IMC del individuo, ya que si nos encontramos los valores de leptina (encargada de dar la sensación de saciedad) y adiponectina muy bajos en un individuo con un IMC menor de 18,5 (peso insuficiente) será algo negativo para el individuo ya que necesita aumentar su ingesta, pero si nos encontramos unos valores altos en alguien con el perfil opuesto que tenga un IMC superior a 30, sería por lo que ideal sería encontrar unos valores normales de Leptina y Adiponectina en alguien con un IMC entre 18,4 y 25.
- **Cortisol:** Un aumento excesivo de esta hormona resulta perjudicial, ya que es una hormona que aumenta el estrés del individuo, y conforme mayor sea este más aumenta el riesgo en el individuo de padecer diferentes tipos de patologías, especialmente cardíacas.
- **Lactato y LDH:** Los niveles de lactato en sangre se ven disminuidos cuando los atletas realizan pruebas de ejercicio submáximas (actividad física que se suspende cuando el paciente alcanza su frecuencia cardíaca máxima) (**Figura 2**). En estas pruebas el individuo no llega a extralimitarse ya que se para la actividad una vez que ha llegado a su límite. Podemos ver cómo ocurre totalmente lo contrario cuando se continúa con el ejercicio incluso habiendo llegado a su "límite" en el que los niveles de lactato en sangre aumentan, por lo que se podría utilizar como biomarcador de un sobreentrenamiento. El Lactato se utiliza como fuente de energía para el músculo, por lo que en el perfil de individuos que realizan deporte, un aumento en su concentración resulta beneficioso, ya que podrán disponer de una mayor reserva energética durante el entrenamiento.

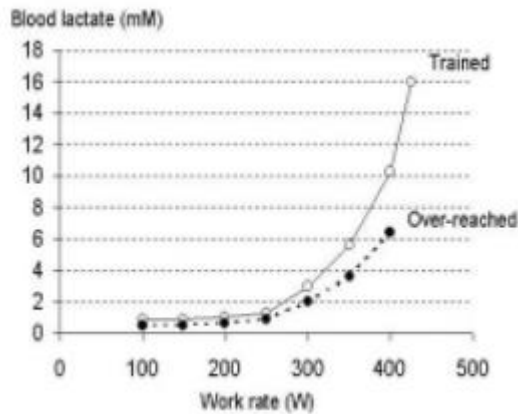


Figura 2. Ejemplo de niveles de lactato en sangre más bajos como respuesta a un ejercicio de exceso de alcance en ciclistas de élite (Jeukendrup et al. 1992)

- **Urea:** La concentración de desechos nitrogenados en el plasma sanguíneo (urea, ácido úrico) puede servirnos como medida del grado de descomposición de las proteínas musculares, siendo así un buen marcador del sobreentrenamiento, ya que en estos periodos prolongados de ejercicio el catabolismo de estas proteínas aumenta considerablemente. Un pequeño aumento en su concentración no supone ningún riesgo, ya que en caso de los deportistas al realizar diariamente una mayor cantidad de entrenamiento físico desechan más sustancias mediante el sudor, pero si nos encontramos con unos valores demasiado altos esto puede llegar a ser negativo para el individuo ya que es un indicador de problemas renales.
- **Alanina:** es liberada por el tejido muscular para utilizarla. La formación de este aminoácido no esencial surge a través del catabolismo de los AACR (aminoácidos de cadena ramificada), aumenta el cortisol en periodos de entrenamiento de intensidades elevadas y durante media-larga duración. Un aumento del nivel de Alanina en sangre resulta beneficioso para el deportista, ya que está directamente relacionada con la creación de tejido muscular, por tanto, cuantas más fibras musculares pueda disponer el deportista para realizar el entrenamiento, mejor rendimiento tendrá y podrá recuperarse más rápidamente de las lesiones musculares.
- **Glucosa:** La variación de glucosa en sangre es muy pequeña. La glucemia está regulada por la acción de varias hormonas: directas (insulina y glucagón) e indirectas (catecolaminas, cortisol y somatotropina). El descenso de glucosa en deportistas está causado por la menor cantidad de grasa corporal que poseen debido a su rutina de entrenamiento y dietética, este descenso

en las concentraciones de glucosa es seguro dentro de unos límites, si tenemos un descenso muy grande podría ser dañino para el atleta.

Importancia del estado inmunológico en el deporte:

(Gleeson, 2002) Un estado de desnutrición proteico-calórico se asocia a un estado de depresión del sistema inmune. Para el correcto funcionamiento de los órganos se necesita un porcentaje mínimo de grasa corporal, por ello es que cuando los deportistas alcanzan su mejor momento de rendimiento de forma, es decir, consiguen su peso máximo permitido en su categoría y un porcentaje de grasa muy bajo (4-6% en hombres y 8% en mujeres). Una vez alcanzado este "pico" los deportistas mantienen este peso y porcentaje durante un periodo máximo de 3-5 semanas ya que el organismo no puede conservar un estado de salud adecuado con estos valores de competición. La evaluación del estado inmunológico puede controlarse mediante el cortisol, que se ve aumentado cuando el estrés psicofísico es demasiado para el deportista.

Es una respuesta de estrés al entrenamiento demasiado intenso que a menudo suele estar relacionado con tiempos de corta recuperación entre sesiones, a esto debemos sumar el factor psicológico el cual influye en el individuo durante todo el día incluso fuera del periodo de entrenamiento ocasionando que la recuperación no sea la idónea, el estilo de vida también es un factor relevante, aunque en deportistas de élite esto suele estar muy regulado y suelen llevar una rutina muy regulada, debido a todos estos factores podemos afirmar que el sobreentrenamiento no está causado exclusivamente por una carga forzosa de entrenamiento sino que es una suma de variables que desembocan en un estado negativo para el deportista.

A todo esto debemos sumar lo mencionado previamente, los atletas que participan en programas de entrenamiento pesado, particularmente aquellos involucrados en eventos de resistencia presentan una depresión del sistema inmunológico debido al excesivamente bajo nivel de grasa corporal que presentan este perfil de deportistas, por ello son más susceptibles a infecciones y por tanto tienen más probabilidades de enfermar que el resto de la población, no solo son más susceptibles a enfermar sino que el periodo de la enfermedad es más largo, frenando así el entrenamiento y la mejora de potencial en periodos convalecientes de alguna patología como la gripe.

(Gleeson, 2002) Otra de las razones por la que el sistema inmunológico del deportista puede estar afectado negativamente es debido al sobreentrenamiento y el “over-reaching” (extralimitación), podemos definir al sobreentrenamiento como un entrenamiento excesivo el cual implica un empeoramiento en el rendimiento deportivo del individuo y una fatiga prolongada, obviamente podemos observar cómo estos dos efectos son los opuestos a los deseados en un deportista, estaría causado por un mal plan de entrenamiento en el que ponemos en riesgo al deportista por exponerlo ante un entrenamiento el cual se encuentra por encima de sus capacidades, en el caso del “over-reaching” la fatiga no sería tan prolongada y duraría unos pocos días.

Varios estudios afirman que el “movimiento es salud”, por tanto, podemos afirmar que el ejercicio físico es un factor protector de múltiples patologías, como pueden ser patologías cardíacas, pulmonares, reumáticas... Una vez estudiado los efectos del entrenamiento sobre el cuerpo del individuo podemos afirmar que hay diferentes biomarcadores que sufren variaciones en sus concentraciones basales, estos biomarcadores aumentan o disminuyen dependiendo del momento en el que se analicen. Los valores se ven alterados si los comparamos en momentos previos al entrenamiento y en el post-entrenamiento. Estas variaciones son indicadoras de los diferentes cambios que nuestro cuerpo ha realizado para adaptarse a la situación, y mediante los valores que estos biomarcadores presentan podemos saber si en este caso, el atleta, está lo suficientemente preparado para la carga de entrenamiento asimilada o si existe alguna lesión o algún problema que interfiera o frene la continuación del programa de entrenamiento.

En el deporte a nivel profesional todos estos valores bioquímicos son muy utilizados ya que son una medida exacta y fiable del estado del atleta, ya que conforme se avanza en profesionalidad en cuanto al compromiso con el deporte también se avanza en preparación y en control sobre la salud del deportista.

El deportista profesional está sometido a entrenamientos y dietas muy estrictas que no cualquiera puede sobrellevar con un estado óptimo de salud y de rendimiento deportivo, por ello se les realizan análisis cada poco tiempo, porque estos cambios pueden generar un efecto inverso al deseado si no se aplican según la carga que el individuo pueda soportar, para ello estos análisis junto con los diferentes biomarcadores ya mencionados nos indican de si el programa de entrenamiento presentado para el atleta es el óptimo para él o si le puede traer inconvenientes no deseados y estancar su progresión como deportista profesional.

En referencias como (Beltrán et al., 2020), (Marqués-Jiménez et al., 2016.) y (Urdampilleta et al., 2013) podemos ver como se comparan tres tipos de deportes diferentes a nivel profesional (voleibol, fútbol y ciclismo) en los que en un principio podemos ver que son deportes muy diferentes, observamos también varias similitudes, estas similitudes vienen dadas por los biomarcadores que se ven principalmente afectados en estos deportes y en las variaciones que estos experimentan durante la práctica de los mismos.

Podemos observar como la Creatina Quinasa (CK) es utilizada en prácticamente todos los deportes como uno de los principales biomarcadores a la hora de analizar al deportista, esto es debido a que dependiendo de qué valores presente en el sujeto en ese momento podemos sospechar de lesión, ya que este biomarcador se utiliza como indicador de lesión tisular o inflamación y poder prever así el estado de la musculatura del deportista y evitar posibles lesiones no deseadas. En los 3 deportes, los valores reflejan que la CK se ve aumentada en el momento post-entrenamiento en comparación con los momentos previos a la realización del mismo.

Otro biomarcador en común que tienen estos deportes es la Creatinina, que se genera a partir de la creatina muscular, mediante los análisis de este compuesto químico podemos analizar en el momento post-entrenamiento si la carga de esa sesión programada ha sido demasiado intensa o si ha sido óptima, en comparación con las personas sedentarias, se ve aumentada ya que los deportistas tienen más masa muscular obviamente debido a la rutina de ejercicio y alimentación a la que están sometidos.

Si comparamos la información que se ofrece en (Gleeson, 2002) y en (Marqués-Jiménez et al., 2016), encontramos que ambos se centran en el sobreentrenamiento y en los efectos que este produce sobre el sistema inmunitario del deportista que está sometido a ello.

El sobreentrenamiento se puede definir como: sesión de entrenamiento programada con el fin de mejorar las condiciones físicas y marcas deportivas del atleta, pero al ser demasiado exigentes o superar las capacidades físicas del individuo causan un efecto contrario, produciendo lesiones y fatiga prolongada.

Durante este tipo de sesiones el organismo del individuo se ve afectado negativamente, uno de los biomarcadores que nos indican los efectos adversos es la concentración de los linfocitos en sangre, como podemos observar en la **Tabla 4**, vemos que el nivel normal de leucocitos se encuentra reducido

en los deportistas, esto es debido a que suelen tener unos niveles muy bajos de grasa corporal que causa un déficit en el sistema inmunológico provocando así una menor eficacia del mismo frente a infecciones.

Al igual que los linfocitos se ven afectados, el cortisol también es uno de los principales biomarcadores que sufren variaciones con el sobreentrenamiento, al contrario que con el nivel de linfocitos en sangre, el cortisol aumenta, esto es debido al estrés al que están sometidos los atletas, lo cual influye aumentando la concentración. El estrés no es solamente causado por la influencia física del entrenamiento en el cuerpo del deportista, sino que también están sometidos a un estrés psicológico en el que el individuo se siente frustrado al no poder mejorar su condición física pese a los esfuerzos, causando esto un refuerzo negativo y por consiguiente no consigue su objetivo deseado.

8. CONCLUSIÓN

Como hemos podido observar a lo largo de este trabajo, el correcto funcionamiento de nuestro organismo puede ser analizado mediante las concentraciones de diferentes marcadores bioquímicos, según las concentraciones de estos biomarcadores podemos hacer un análisis del estado en el que nos encontramos. Podemos utilizar los valores que presenten las diferentes sustancias que analicemos, podemos prever diferentes patologías y los efectos que estas causan sobre nosotros. Incluso si el individuo ya está enfermo, gracias a estos análisis podemos saber en qué estado de la enfermedad se encuentra y qué tipo de tratamiento es el correcto.

Si aplicamos todo esto al mundo del entrenamiento deportivo, podemos hacer que los atletas que quieran dedicarse profesionalmente al deporte puedan mejorar su condición física y por tanto sus marcas. Todo esto estará regulado por un equipo de profesionales que aconseja al deportista de su estado de salud actual y de cuál sería su programa de entrenamiento ideal, analizando mediante estos marcadores bioquímicos sus posibilidades y su rendimiento, evitando así posibles sobreentrenamientos o extralimitaciones que supongan un riesgo en el atleta, causándole lesiones o posibles enfermedades. Al estar sometidos a rutinas y programas de ejercicio tan intensos, por su seguridad se ven sometidos a análisis periódicos, para regular así las concentraciones y las diferentes fluctuaciones que presentan los biomarcadores en las diferentes fases del entrenamiento, ya sea momentos antes, durante o después del mismo.

Los principales marcadores bioquímicos utilizados en el análisis del estado del deportista son el Lactato, Creatina Quinasa, Creatinina y Leucocitos.

El lactato contribuye al aumento de la capacidad de trabajo del músculo, permitiendo así su prolongación del tiempo de trabajo y a una mejor oxigenación en los momentos de más demanda de potencia, por lo que son muy importantes para el rendimiento del deportista.

La Creatina Quinasa y la Creatinina son esenciales para el músculo ya que gracias a la creatina obtenemos la energía necesaria para la contracción y los valores de creatina quinasa se encargan de indicarnos de posibles lesiones o periodos de inflamación.

El estado inmunológico del deportista es muy importante para evitar ralentizar el progreso del entrenamiento o incluso detenerlo, esto es debido a que los atletas suelen tener un nivel de grasa muy inferior a los valores normales, esto causa una inmunodeficiencia que expone a los deportistas a una mayor facilidad a padecer alguna enfermedad, por ello los leucocitos son unos de los biomarcadores más utilizados en deportistas, para así poder hacer un seguimiento del estado de salud.

Como conclusión, podemos afirmar que el control de los marcadores bioquímicos está plenamente integrado en el mundo deportivo, para proteger y mejorar el rendimiento y la salud de aquellos que lo practican.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Beltrán, J. D., Moya-Pérez, J. C., Aullón-Gutiérrez, H. A., Caicedo-Soto, G., & Waltero-Peñaloza, C. A. (2020). CUANTIFICACIÓN DE LA RESPUESTA BIOQUÍMICA AL ENTRENAMIENTO ESPECÍFICO EN VOLEIBOLISTAS DURANTE UN MICROCICLO DE CHOQUE. *Revista Digital: Actividad Física y Deporte*, 6(2). <https://doi.org/10.31910/rdafd.v6.n2.2020.1569>
- Española, R., Urdampilleta, A., Miguel Martínez-Sanz, J., & Lopez-Grueso E R E V I S I O N E S, R. (n.d.-a). *Rev Esp Nutr Hum Diet*. 2013; 17(2): 73-83 *Spanish Journal of Human Nutrition and Dietetics Valoración bioquímica del entrenamiento: herramienta para el dietista-nutricionista deportivo*. www.renhyd.org
- Española, R., Urdampilleta, A., Miguel Martínez-Sanz, J., & Lopez-Grueso E R E V I S I O N E S, R. (n.d.-b). *Rev Esp Nutr Hum Diet*. 2013; 17(2): 73-83 *Spanish Journal of Human Nutrition and Dietetics Valoración bioquímica del entrenamiento: herramienta para el dietista-nutricionista deportivo*. www.renhyd.org
- Gleeson, M. (2002). BIOCHEMICAL AND IMMUNOLOGICAL MARKERS OF OVER-TRAINING. In *Journal of Sports Science and Medicine* (Vol. 1). <http://www.jssm.org>
- Humana Dietética, N., Urdampilleta, A., López-Grueso, R., Miguel Martínez-Sanz, J., & Mielgo-Ayuso, J. (2014a). *Revista Española de*. In *Rev Esp Nutr Hum Diet* (Vol. 18, Issue 3). www.renhyd.org

- Humana Dietética, N., Urdampilleta, A., López-Grueso, R., Miguel Martínez-Sanz, J., & Mielgo-Ayuso, J. (2014b). Revista Española de. In *Rev Esp Nutr Hum Diet* (Vol. 18, Issue 3). www.renhyd.org
- Jürimäe, J., Mäestu, J., Jürimäe, T., Mangus, B., & von Duvillard, S. P. (2011). Peripheral signals of energy homeostasis as possible markers of training stress in athletes: A review. In *Metabolism: Clinical and Experimental* (Vol. 60, Issue 3, pp. 335–350). W.B. Saunders.
<https://doi.org/10.1016/j.metabol.2010.02.009>
- Marqués-Jiménez, D., Calleja-González, J., Arratibel, I., & Terrados, N. (n.d.). *Relevant biochemical markers of recovery process in soccer Marcadores bioquímicos relevantes del proceso de recuperación en fútbol.*
- McGuigan, H., Hassmén, P., Rosic, N., & Stevens, C. J. (2020). Training monitoring methods used in the field by coaches and practitioners: A systematic review. In *International Journal of Sports Science and Coaching* (Vol. 15, Issue 3, pp. 439–451). SAGE Publications Inc.
<https://doi.org/10.1177/1747954120913172>