



TESINA

Presentado para solicitar su inscripción en el marco normativo vigente de
la carrera de LICENCIATURA EN ACTIVIDAD FISICA

Título:

``Rendimiento aeróbico bajo una dieta
cetogénica``

Autoras:

Brioni, Eve Mercedes -7520

Harte, Celina - 7671

Tutora:

Lic. En nutrición Pallotta, María Luz.

Fecha de presentación: 26/03/2021

Firma de autoras:

Resumen:

Objetivo: Analizar parámetros de rendimiento en entrenamientos de resistencia en deportistas experimentados que realizan una dieta cetogénica.

Materiales y Métodos: Se realizó una revisión bibliográfica, utilizando ensayos clínicos que desarrollen diferentes métodos de entrenamiento de resistencia asociados a dietas cetogénicas y que determinen parámetros de rendimiento antes y después de dicha intervención. Se utilizó material bibliográfico a partir de la búsqueda en bases de datos virtuales y en materiales físicos.

Resultados: Se analizaron 7 ensayos clínicos que arrojaron los siguientes resultados: VO_{2pico} : 6 aumentaron y 1 disminuyó; RER: 6 disminuyeron y 1 no informó; $VO_{2submáximo}$: 5 aumentaron y 2 no informaron; Umbral Lactato/[Lac]_{sangre}: 5 mejoraron y 2 no variaron; masa grasa corporal: 4 disminuyeron, 1 no varió y 2 no informaron y todos en estado de cetosis nutricional.

Conclusión: Se puede concluir que las dietas cetogénicas generan un aumento de la oxidación de grasas que potenciaría el Fat_{max} bajo un programa de entrenamiento de resistencia que trabaje a intensidades específicas, pudiéndose implementar durante el periodo de preparación general donde se desarrollan resistencias de base utilizando métodos continuos extensivos, continuos variados e interválicos extensivos con intervalos largos. La mejora en el umbral láctico, concentración de lactato y VO_{2pico} , podrían estar asociados la pérdida de la masa grasa corporal siendo esta un factor que interviene directamente en la mejora de los parámetros de rendimiento.

Abreviaciones:

- ATP: adenosina trifosfato.
- FC max: frecuencia cardiaca máxima.
- FC: frecuencia cardiaca.
- VO₂: consumo de oxígeno.
- VO₂ pico: consumo de oxígeno al máximo nivel tolerado de ejercicio por un sujeto
- VO₂ max: cantidad máxima de oxígeno que el organismo puede absorber, transportar y consumir por unidad de tiempo
- VO₂ submáximo: porcentaje de consumo de oxígeno menor al máximo.
- PC: fosfocreatina
- KB: cuerpo cetónico.
- B-HB: β-hidroxibutirato.
- AcAc: aceto acetato
- CHO: carbohidratos
- IMTG: triacilglicerol intramuscular.
- RER: relación de intercambio respiratorio.
- MLSS: máximo estado estable de lactato
- O₂: oxígeno.
- CO₂: dióxido de carbono.
- AG: ácidos grasos.
- TG: triglicéridos.
- DAGT: diacilglicerol tranferasa.
- GC: grasa corporal.
- MET: 3,5 ml/km/min de oxígeno.
- Kcal: kilocalorías.
- Acetil-CoA: acetil coenzima A.
- IMC: índice de masa corporal.

Índice:

I Introducción.....	1
II Objetivos.....	4
II a. general.....	4
II b. específico.....	4
III Marco teórico.....	5
III a. Programación y métodos de entrenamiento	5
III b. Zonas de entrenamiento.....	8
III c. Diferencias del rendimiento determinadas por el sexo y nivel de rendimiento..	10
III d. Parámetros de rendimiento deportivo.....	11
III d.1 Consumo de Oxígeno y ventilación pulmonar.....	11
III d.2 Determinación del VO_{2max} y $VO_{2submáximo}$	12
III d.3 Umbral de lactato.....	14
III e. Metabolismo de ácidos grasos y sus adaptaciones al entrenamiento de resistencia.....	17
III e.1 Determinación de la oxidación de sustratos.....	18
III f. Dieta cetogénica.....	20
III f 1. Fundamentos fisiológicos y bioquímicos de la dieta cetogenica.....	21
III f 2. Eficiencia de la dieta en la pérdida de peso.....	22
III g. Métodos de evaluación de composición corporal.....	23
IV. Justificación.....	25
V. Materiales y métodos.....	26
VI. Resultados.....	31
VII. Discusión.....	41

VIII. Conclusión.....	45
IX. Bibliografía.....	46

I. Introducción:

Una persona que pesa 70 kg, que posea un porcentaje de grasa corporal del 15%, es capaz de completar 30 maratones mientras utiliza la grasa almacenada. Por lo tanto, debido a la limitada reserva de CHO y una abundante reserva de lípidos, los entrenadores y atletas de élite se preguntan si existe una forma eficaz de mejorar la utilización de grasas. (1)

Esto lleva a que los atletas y entrenadores experimentados estén en constante búsqueda de métodos de entrenamiento y estrategias nutricionales para maximizar su rendimiento. Recientemente, ha habido un interés resurgente en el papel de los cuerpos cetónicos que pueden servir como un importante sustrato energético en determinadas condiciones y puede modular el metabolismo de CHO y lípidos. La dieta cetogénica puede afectar el rendimiento del ejercicio a través de la reducción de la capacidad de utilizar CHO, que forma una de las fuentes de combustible clave para el músculo esquelético durante ejercicio de resistencia junto con las grasas. En esta condición, el músculo esquelético satisface sus demandas energéticas utilizando sustratos que proceden de las reservas del organismo, estos no son utilizados directamente por la célula muscular, sino que ceden energía contenida en sus enlaces químicos para la fosforilación del ATP. La resíntesis de esta molécula proviene de tres mecanismos que son A) síntesis de ATP a partir de PC, B) glucólisis anaeróbica transformando el glucógeno muscular en lactato y C) fosforilación oxidativa. Estos sistemas no actúan de manera independiente, pero si tienen preponderancia unos sobre otros dependiendo principalmente de la intensidad del ejercicio. (2,3)

Para la población general se considera que intensidades de ejercicio que impliquen del 55 al 70% de la FC_{max} . corresponden a actividad aeróbica (para atletas entrenados este porcentaje aumenta al 70-90%) (3) o lo que es lo mismo, una velocidad de consumo de VO_{2max} que se relaciona con este valor FC_{max} . (3,4). Los mecanismos por los cuales las células musculares seleccionan los sustratos que van a ser utilizados por cada situación son complejos. El retardo en la movilización de las reservas grasas y el transporte de los AG implica cierta utilización de CHO, incluso a intensidades de ejercicios muy bajas, esto ocurre en las fases iniciales. Según aumenta la intensidad del ejercicio aumenta la oxidación de grasas hasta el Fat_{max} . (72,4% VO_{2max}). (5) Sin embargo, en sujetos entrenados en resistencia se describen intensidades de más del 75% VO_{2max} como máxima capacidad de oxidación de grasas. Para intensidades de ejercicio máximas el tiempo de duración del ejercicio es el que domina la fuente de energía de la resíntesis de ATP: hasta 10 segundos principalmente ATP-PC, entre 10

y 180 segundos principalmente glucólisis láctica y más de esa duración oxidación de ácidos grasos. (3)

La dieta cetogénica es una dieta normocalórica donde alrededor del 70% de las calorías diarias provienen de los AG, 17% de las proteínas y alrededor del 13% de los CHO; induciendo la producción de KB (B-HB, AcAc y acetona). La utilización de dietas cetogénicas en deportes de resistencia mejora el rendimiento de los deportistas. Estas dietas regulan positivamente la liberación, el transporte, la absorción y la utilización de grasa en el músculo, incluso en atletas de resistencia cuyo entrenamiento mejora tales adaptaciones. (1, 2, 6)

Debido a esto, las dietas cetogénicas a veces son alentadas durante los entrenamientos preparatorios fuera de temporada cuando los volúmenes de entrenamiento son altos y la intensidad del ejercicio son de bajas a moderadas, sin embargo, durante ejercicio de alta intensidad ($> 70\% \text{VO}_{2\text{max}}$) que es común durante la competición, el CHO es el sustrato principal en el que se confía a pesar de la adaptación a la grasa a corto y largo plazo. (4,7)

Los deportes de resistencia se clasifican como eventos continuos de más 30 minutos de duración y con actividades una duración mayor a 4-5 horas se considera de ultra resistencia. Un estado de entrenamiento elevado afecta al potencial de oxidación de AG debido al aumento de IMTG, cantidad de mitocondrias, cambios en las concentraciones de proteínas y regulación hormonal. Las adaptaciones que ocurren debido al entrenamiento de resistencia regular favorecen la capacidad para oxidar grasas a mayores intensidades de ejercicio teniendo una influencia positiva en la capacidad aeróbica. (4)

Existen diferentes zonas de intensidad dentro del ejercicio aeróbico, así como también diferentes sistemas o métodos de entrenamiento y deportes de resistencia que utilicen estos sistemas. (3, 8, 9) Estos deportes dependen de la capacidad de utilización de oxígeno y de la resíntesis de ATP. Para alcanzar un rendimiento óptimo en estas disciplinas es fundamental poder alcanzar valores elevados de $\text{VO}_{2\text{max}}$, sin que se produzca una elevación significativa de la concentración de lactato en el músculo. El

éxito competitivo se otorga a los atletas que mantienen las velocidades más altas durante el evento (3). De hecho, el ritmo de carrera en muchas actividades de resistencia (por ejemplo, maratón, pruebas contrarreloj de ciclismo, eventos de esquí de fondo) utiliza un porcentaje muy alto de la intensidad aeróbica máxima de un individuo. En eventos más prolongados de menor intensidad promedio o de "fondo" (p. Ej. Triatlón Ironman, carreras de ciclismo en ruta y por etapas) se requieren ráfagas de actividad a la velocidad crítica o por encima del umbral aeróbico. Las características claves de los atletas de resistencia acumuladas a través de genética y entrenamiento, implican la interacción de una capacidad aeróbica alta (VO_{2max}), elevada capacidad oxidativa muscular y gran economía de ejercicio. (6)

Existen diferentes métodos de entrenamiento de la resistencia aeróbica que buscan hacer hincapié en distintos objetivos. Su desarrollo específico acompañado con estrategias de nutrición adecuadas tiene como fin garantizar la disponibilidad y la capacidad correcta del uso de las reservas de combustible para producir ATP de acuerdo con las demandas del evento deportivo. (3, 10)

Teniendo en cuenta lo antes mencionado, se puede decir que existen diferencias en cuanto al rendimiento empleando diferentes métodos de entrenamiento de resistencia en deportistas que estén bajo una dieta cetogénica.

I. **Objetivos:**

II a. General:

- Analizar parámetros de rendimiento en entrenamientos de resistencia en deportistas experimentados que realizan una dieta cetogenica.

II b. Específicos:

- Analizarlos diferentes métodos de entrenamientos de resistencia.
- Determinar en qué periodo de la planificación del entrenamiento se podría incorporar esta dieta.
- Determinar las diferencias entre los resultados teniendo en cuenta las características de los distintos deportes de resistencia.
- Determinar qué tipo de entrenamiento de resistencia presenta mayores beneficios en cuanto al rendimiento.

II. Marco teórico.

III a. Programación y métodos de entrenamiento.

El entrenamiento es el proceso planificado que pretende la optimización, estabilización o reducción de la condición física, técnica de movimiento, táctica y aspectos psicológicos. El nivel de entrenamiento está dado por el grado de desarrollo deportivo del individuo, se distinguen: el entrenamiento fundamental (principiantes), de perfeccionamiento (avanzados) y de alto rendimiento (nivel de dominio o elite). Cada uno de estos niveles conlleva años hasta alcanzar su máximo potencial. La intensidad de la carga de entrenamiento es el grado de cada uno de los estímulos o bien del rendimiento definido como trabajo por unidad de tiempo. En el ámbito de la resistencia queda descrita a través de la velocidad de desplazamiento, valor del lactato sanguíneo o porcentaje del VO_{2max} . (10)

El método de entrenamiento es el procedimiento programando que determina los contenidos, medios y cargas de entrenamiento en función de su objetivo. Sobre todo, en el ámbito de acondicionamiento físico se han establecido métodos fundamentales autónomos y dentro de ellos existen aún más variables. (10)

Los efectos biológicos de los métodos de entrenamiento son el criterio preferencial de selección del método de entrenamiento para un determinado periodo. El desarrollo y sobre todo la manifestación de un determinado tipo de resistencia requieren una estructuración a largo plazo que incluye el paso escalonado de diferentes niveles de desarrollo y una incorporación dentro del macrociclo (periodo preparatorio general y específico). Para el entrenamiento de los tipos específicos de resistencia se aplican métodos que consigan una transformación de los diferentes niveles de resistencia de base. (10)

El entrenamiento de resistencia de base I tiene como objetivos el desarrollo de la capacidad aeróbica trabajando a intensidades de $VO_{2submax}$. El método continuo extensivo es el más eficiente en este caso. También pueden realizarse simultáneamente cargas intermitentes para desarrollo de VO_{2max} . La resistencia de base se puede adquirir sin especialización, por esta razón se recomienda en los deportes de fondo todas las formas cíclicas de desplazamiento, siempre que impliquen más de una sexta parte de la musculatura esquelética. La actividad física para el desarrollo de este tipo de resistencia comprende: correr, marcha, esquí de fondo, patinaje de velocidad, remo, ciclismo y natación. El entrenamiento de la resistencia de base se ha de realizar dentro del marco de la periodicidad anual a lo largo de 8/10

semanas aproximadamente para alcanzar suficiente mejora (alrededor del 10%). (10)

Por otro lado, se encuentra el entrenamiento de resistencia de base II, cuyos objetivos son crear un punto de partida estable para el entrenamiento específico de las distintas modalidades de resistencia y acceso a nuevas reservas para mayores incrementos de rendimiento. A nivel fisiológico se lograría un aumento de la capacidad aeróbica, un poco más elevado que la resistencia de base I, y desarrollo de vía mixta aeróbica/anaeróbica con intensidades más cercanas al umbral láctico. Esto puede implementarse en el marco del entrenamiento global (periodo de preparación general). Los métodos apropiados para el desarrollo de la resistencia de base II son: continuo intensivo, continua variable, intervalito extensivo con IL o IM. (10)

Los objetivos de los diferentes métodos de entrenamiento:

El método continuo, consiste en una carga ininterrumpida a lo largo de un tiempo prolongado. Dentro de este método se encuentran tres variables:

variables	%VO₂ max.	Efecto del entrenamiento
Extensivo	45-65%	Mejor oxidación de grasas. Economización del trabajo cardiaco. Aceleración de la regeneración.
Intensivo	60-90%	Desplazamiento del umbral anaeróbico. Ampliación del VO ₂ max. Aumento de los depósitos de glucógeno.
Variado (mixto)	45-95%	Mejora de la lipólisis. Mejora de la glucólisis. Adaptaciones a nivel cardiovascular.

Tabla 1 confeccionada por autoras. (10)

El método interválico se caracteriza por el cambio sistémico entre fases de carga y descanso. Dentro de este método se encuentran seis variables:

VARIABLES	%VO₂ max.	Efectos del entrenamiento
Extensivo con intervalos largos	66-71%	Capilarización. Aumento de la glucólisis. Aumento de la capacidad aeróbica.
Extensivo con intervalos medianos	66-76%	Desarrollo aeróbico. Capilarización. Tolerancia y eliminación de lactato.
Intensivo con intervalos cortos	85-90%	Producción y remoción del lactato. Incremento del VO _{2max} . Capilarización.
Intensivo con intervalos extremadamente cortos	85-95%	utilización de depósitos de fosfato. Iniciación de glucólisis anaeróbica. Poca capilarización.
Repeticiones con intervalos largos	76-85%	Mejora vía mixta aeróbica anaeróbica. Remoción de lactato.
Repeticiones con intervalos cortos.	85-95%	Producción rápida de lactato. Incremento de depósitos de fosfatos.

Tabla 2 confeccionada por autoras. (10)

Otro método de entrenamiento utilizado en los deportes de resistencia es el HIIT, el cual se caracteriza por estímulos de corta duración, entre 15 seg. a 1 min, de alta intensidad (95 al 115% del VO_{2max}) y con pausas entre 15 seg. a 2 min, con la realización de patrones motores cíclicos como correr, trotar, etc. Algunos sus objetivos es la mejora del umbral láctico, y la elevación del VO_{2max}. (11, 12, 13)

Algunos deportes de resistencia y su intensidad promedio respecto al VO_{2max}:

- Carrera de fondo: Mujeres: 65/70; Hombres: 75/80.
- Carrera de medio fondo: Mujeres: 65/68; Hombres: 70/75.
- Ciclismo: Mujeres: 60/65; Hombres: 70/75.
- Marcha atlética: Mujeres: 55/60; Hombres: 60/65. (10)
- Esquí de fondo y bitaron: Mujeres: 65/70; Hombres: 75/78.

- Patinaje de velocidad: Mujeres: 55/60; Hombres: 65/72.
- Natación: Mujeres 55/60; Hombres: 60/70.
- Remo: Mujeres: 60/64; Hombres: 65/69. (10)

Para las carreras de larga distancia, los entrenamientos (5000-10000m) requieren sesiones de alto volumen y de menor volumen, pero a mayor intensidad. El ritmo de carrera y la capacidad aeróbica son factores claves en este tipo de deporte. (11)

Para los maratones se realizan entrenamientos largos de alrededor de 225km en 12 o 14 semanas de entrenamiento previas a la carrera, el objetivo es acumular volumen de entrenamiento. Intensidad: hasta el 80% del VO_{2max} . (11)

En los ultramaratón las distancias son superiores a 42km siendo las más populares las de 80 y 161km, estas poseen mucha acumulación de volumen y un desarrollo elevado del sistema aeróbico oxidativo. (11)

En el ciclismo todo terreno el 82% del tiempo de duración de carrera la intensidad de ejercicio se encuentra por encima del umbral láctico. El $VO_{2maximo}$ medio durante la competencia es de 84% aproximadamente. Así mismo se observan grandes oscilaciones en la producción de potencia, indicando que son actividades de alta intensidad caracterizadas por un esfuerzo variable. (14).

Para el entrenamiento de estos deportes se diferencian tres ámbitos de carga en base a los planos generales de entrenamiento: cargas de resistencia (aeróbica, volumen mayor al de competición y 75-85% de la velocidad de competición), cargas de rapidez (resistencia específica, mixta aeróbica anaeróbica, distancia similar a la competitiva) y de velocidad (distancia corta, potencia anaeróbica láctica). (11)

III b. **Zonas de entrenamiento.**

Existen diferentes formas para determinar las zonas de entrenamiento de resistencia aeróbica que son el VO_{2max} , FC y nivel del umbral de lactato, pero independientemente de cual se utilice, todas deberían basarse en tres hitos de la fisiología que se pueden determinar mediante el análisis de los gases respiratorios en una prueba de esfuerzo. Estos hitos fisiológicos representan un área de intensidad de esfuerzo y son los siguientes: (8)

1º Umbral Ventilatorio: También conocido como “umbral aeróbico”, es un área de baja o muy baja intensidad. Se considera que a una intensidad igual o inferior la energía se

obtiene sobre todo por la utilización de las grasas y a intensidades superiores comienza a ser más importante el aporte de energía por la vía metabólica de CHO. (8)

2º Umbral Ventilatorio: También conocido como “umbral anaeróbico” o “de lactato”. Es un área de intensidad de ejercicio a partir de la cual el aporte de energía por la vía metabólica de los CHO es casi exclusivo y, por lo general, el tiempo que puede ser sostenida esta intensidad suele ser entre 30’ y 60’, aunque depende de cada deportista. A intensidades superiores este tiempo se va reduciendo. (8)

Máximo Consumo de Oxígeno: También conocido como “potencia aeróbica máxima” o “ VO_{2max} ”. Se podría decir que representa la máxima intensidad que es posible sostener mediante vías metabólicas oxidativas (aeróbicas). El tiempo límite a esta intensidad suele rondar entre 3 y 6 minutos. (8)

En relación con el VO_{2max} , existen 3 zonas:

- Zona 1: igual o inferior al primer umbral ventilatorio. <60-65% del VO_{2max} .
- Zona 2: entre el primero y el segundo umbral ventilatorio. 65-85% del VO_{2max} .
- Zona 3: igual o superior al segundo umbral ventilatorio. >85% del VO_{2max} . (8)

Teniendo en cuenta la respuesta al lactato en relación con el MLSS. El MLSS («Maximum Lactate Steady State») es el paso o intensidad que corresponde a un aumento no significativo de lactato en un periodo prolongado de tiempo; se pueden distinguir diferentes zonas de entrenamiento: (3)

- Aeróbico 1: 75-80% MLSS (entrenamiento de regeneración).
- Aeróbico 2: 85-90% MLSS (entrenamiento continuo extensivo).
- Resistencia 1: 95-100% MLSS (continuo intensivo).
- Resistencia 2: 100-110% MLSS (intervalito extensivo; ejemplo, fartlek). (3)

Y la otra manera de determinar la zona de trabajo puede ser por la FC, como el método de Karvonen, que establece una frecuencia objetivo, que es igual a la FC de reposo más un porcentaje de la FC de reserva.

$FC\text{ reserva} = (FC\text{ reposo} - FC\text{ máxima})$, para calcular la FC de entrenamiento se toma el 85% de la FC reserva previamente calculada y se le adiciona la FC de reposo. Si bien este método resulta muy preciso está condicionado a las variaciones de la FC de reposo descritas. Las zonas son: (9)

- Zona 1. Para los procesos de recuperación y para trabajar la resistencia a la fatiga y adicionalmente la eficiencia. El rango es del 50 a 60% de la FC máxima. (9)
- Zona 2. Para el entrenamiento de resistencia. Esta zona produce mejorías cardiovasculares con el entrenamiento, pero no se requiere de más tiempo. El rango es del 60 a 70% de la FC máxima. (9)
- Zona 3. Para el entrenamiento de resistencia contra reloj el volumen de entrenamiento de la zona 3 debe ser limitado (especialmente en carrera), el rango es del 70 a 80% de la FC máxima. (9)
- Zona 4. La intensidad es muy cercana al umbral de lactato de un atleta. Los trabajos en esta zona son considerados intensos, tanto física como psicológicamente y se deben utilizar generalmente al menos una vez por semana durante un entrenamiento planificado. El rango es del 80 a 90% de la FC máxima. (9)
- Zona 5. Se utiliza para entrenar el VO_{2max} y debe hacerse con moderación, debido a la sobrecarga extrema a la cual se puede conducir. El rango es del 90 a 100% de la FC máxima. (9)

III c. **Diferencias del rendimiento determinadas por el sexo y/o nivel de entrenamiento.**

Entre el hombre y la mujer existen diferencias biológicas que pueden llegar a afectar el rendimiento en determinados deportes. Las respuestas y adaptaciones del organismo de las mujeres frente a la actividad física son muy similares a las del hombre, aun así, existen procesos fisiológicos dentro de ellas que pueden variar los resultados al momento de enfrentarse al ejercicio. Uno de los factores es la cantidad de grasa corporal que en las mujeres es mayor y de diferente distribución, lo que lleva a una situación de desventaja a la hora de alcanzar un determinado rendimiento. Por otro lado, frente a la respuesta cardiovascular entre los sexos se sabe que ellas poseen un menor tamaño del ventrículo izquierdo lo que conlleva a un menor volumen sistólico y por lo tanto pueden presentar menores valores en los parámetros de rendimiento. La diferencia en el VO_{2max} entre ambos cuando ésta se expresa en valores relativos al peso corporal es del 20% al 30%. A ello se suma la menor concentración de hemoglobina que presenta la mujer. Otro de los factores que puede causar diferencia es el tamaño relativo pulmonar que contribuye a que el sistema respiratorio sea uno de los factores limitantes durante el ejercicio. (3, 15).

También se debe tener en cuenta que en un estado desentrenado el individuo no es capaz de liberar más del 70% de sus reservas energéticas de las que genéticamente está dotado para su rendimiento, sin embargo, el entrenamiento promueve el aumento de sus reservas activables. Los deportistas principiantes alcanzan mucho antes un mayor nivel de rendimiento, es decir, poseen mayor potencial de mejora que aquellos que llevan varios años de entrenamiento. (10, 11)

III d. **Parámetros de rendimiento deportivo.**

III d.1 **Consumo de oxígeno y ventilación pulmonar.**

El rendimiento en el deportista está limitado por una serie de factores acumulados principalmente a través de la genética y el entrenamiento, que implican la interacción de la capacidad aeróbica, oxidativa muscular y la economía de ejercicio. Para los deportes de resistencia específicamente, existen tres factores principales: $VO_{2máx}$, el llamado 'umbral de lactato' y la eficiencia o economía del gesto, es decir, el costo de oxígeno para generar una velocidad de carrera determinada y a su vez una producción de potencia. El VO_{2max} muestra una mayor dependencia de los factores cardiovasculares y el umbral anaeróbico se relaciona más con el estado metabólico de los músculos esqueléticos. (16)

Uno de los factores con mayor relevancia para suministrar oxígeno a los músculos durante el ejercicio es la capacidad del sistema cardiorrespiratorio; esto se demuestra por tres líneas principales de evidencia: un cambio en el VO_{2max} en consecuencia a una alteración del suministro de oxígeno; el aumento del $VO_{2máx}$ con el entrenamiento como resultado principal de un aumento del gasto cardíaco máximo (no de un aumento de la diferencia de presión de oxígeno arterial y venosa); y la capacidad extremadamente alta para consumir oxígeno que posee una pequeña masa muscular cuando está sobre perfundida durante el ejercicio. Por lo tanto, el suministro de O_2 se considera el principal factor limitante del VO_{2max} y no la capacidad máxima de absorción de O_2 por parte del organismo. (17)

Respecto al gasto cardíaco, en los deportes de resistencia se produce un aumento del tamaño del corazón y mayor capacidad de bombeo. Durante el ejercicio el gasto cardíaco aumenta en proporción directa con el incremento de la intensidad del ejercicio hasta al menos 20 o 40 l/min. En el ejercicio máximo la FC y el volumen sistólico aumentan alrededor de 95% mientras que la ventilación pulmonar lo hace en un 65% aproximadamente determinando que el VO_{2max} posee una mayor dependencia

de factores cardiovasculares relacionados con el rendimiento cardiaco máximo. (3, 15, 17)

Las adaptaciones metabólicas en el músculo esquelético son, sin embargo, críticas para mejorar el rendimiento de resistencia submáximas provocando un aumento en la actividad de las enzimas mitocondriales, lo que mejora el rendimiento al aumentar la oxidación de grasas y disminuir la acumulación de ácido láctico. El VO_{2max} es una variable importante que establece el límite superior para el rendimiento de resistencia (un atleta no puede operar por encima del 100% del VO_{2max} durante períodos prolongados). Entonces la utilización fraccionada del VO_{2max} o submáximo y el umbral de lactato integran las variables que mejor predicen el rendimiento en carreras de larga distancia. (15, 18)

El VO_{2max} es limitado por cuatro posibles mecanismos: gasto cardíaco, capacidad de transporte de oxígeno del sistema cardiovascular, capacidad de uso y perfusión de oxígeno de las células musculares y capacidad de difusión pulmonar. A partir de estos factores es importante notar que los principales limitantes son la capacidad de perfusión muscular y gasto cardíaco (el gasto cardíaco está determinado por la FC y el volumen sistólico); el volumen sistólico aumenta con el entrenamiento de resistencia. Se ha informado que los niveles más altos de VO_{2max} se correlacionan con el rendimiento de resistencia. (18, 19, 20, 21)

III d.2 **Determinación de VO_{2max} y submáximos:**

Las pruebas utilizadas para determinar el VO_{2max} utilizan ejercicios que activan grandes grupos musculares con una intensidad y duración suficiente para alcanzar una transferencia máxima de energía por vía aeróbica. La prueba de esfuerzo más utilizada es la ergometría, tanto el ciclo ergómetro como cinta rodante. Los valores de VO_{2max} obtenidos en un cicloergómetro son de un 6 a un 11 % más bajos que los obtenidos en una cinta rodante, debido a la menor masa muscular involucrada y a la fatiga local. Las pruebas de esfuerzo constituyen uno de los contenidos fundamentales que centra una gran parte de su actividad en la valoración de las consecuencias que tiene el ejercicio sobre el organismo. Es un procedimiento no invasivo que proporciona información de carácter diagnóstico sobre el funcionamiento cardiopulmonar y evalúa la capacidad individual para realizar ejercicio dinámico. (3, 22)

Para la realización de las pruebas de esfuerzo se utilizan diferentes ergómetros que son equipos mecánicos o eléctricos que permiten dosificar la carga de trabajo aplicada

al individuo que se evalúa. Este instrumento debe permitir graduar la carga de trabajo oponiendo una resistencia cuantificable. A través de diferentes parámetros físicos, como la velocidad, la pendiente o la masa, se podrá modificar la intensidad de la carga. Los ergómetros más utilizados en deporte son el cicloergómetro y el tapiz rodante, el primero se trata de una bicicleta estática en la que se mide la resistencia al pedaleo, la resistencia se coloca externamente en forma de peso que tensa la correa colocada alrededor de la rueda, de forma que el rozamiento producido es proporcional al peso colocado. Se usa mayormente en deportes de bicicleta, de tal forma que debe ajustarse para que el deportista pueda simular su gesto deportivo lo mejor posible. El tapiz rodante es el ergómetro más utilizado porque permite desarrollar movimientos naturales, como la marcha y la carrera. Consiste en una cinta sin fin movida por un motor eléctrico y sobre la que el paciente debe caminar o correr a distintas velocidades y pendientes, según el protocolo utilizado. (22)

El VO_2 se utiliza para expresar un parámetro fisiológico que indica la cantidad de oxígeno que se consume o utiliza en el organismo por unidad de tiempo. La medición directa o su estimación permite la cuantificación del metabolismo energético, y que el oxígeno se utiliza como comburente en todas las reacciones que tienen lugar en las células y que permite la transformación de energía química en energía mecánica y trabajo celular. En estado de reposo existe un VO_2 que es aquel utilizado para el metabolismo basal, equivalente a un MET que es igual a 3,5ml de O_2 por kg de peso corporal y minuto que refleja el gasto energético de un organismo para mantener sus funciones vitales. El $VO_{2maximo}$ que un sujeto puede llegar a alcanzar depende de todos los factores que intervienen en el recorrido que siguen las moléculas de oxígeno procedentes del aire atmosférico hasta llegar al interior mitocondrial, donde se reducen y se unen a los átomos de hidrogeno para formar agua y generar energía en forma de ATP. (23).

Todos los componentes del sistema de absorción y transporte del oxígeno determinan el valor del VO_2 . El VO_2 puede calcularse despejando la ecuación de Fick:

$$VO_2 = GC \times \Delta vO_2. \quad (24)$$

Donde VO_2 es el consumo de oxígeno (mL/min), y ΔvO_2 es la diferencia arterio-venosa de oxígeno (mL/dL) y GC es gasto cardiaco. (24)

Al estudiar la respuesta de los parámetros fisiológicos al ejercicio en el laboratorio se observa que la respuesta del VO_2 es lineal en condiciones submáximas, pero no lo es frente a una prueba máxima, en este caso la carga sigue subiendo, pero el VO_2 lo deja

de hacer, presentándose una meseta, determinando así que el sujeto llegó al nivel del VO_{2max} en ese momento. (3, 25)

Cuando el ejercicio se encuentra por debajo del umbral láctico, el VO_2 alcanza un valor estable a partir de los 3 minutos aproximadamente para esa intensidad. El $VO_{2máx}$ representa la máxima capacidad del organismo para extraer, transportar y utilizar oxígeno del aire inspirado en una situación de esfuerzo máximo. Se expresa en ml/min, ml/Kg/min o porcentaje del valor predicho para la edad, sexo, peso y altura del paciente. La tasa de $VO_{2máx}$ es una medida objetiva de la capacidad de ejercicio. Su valor depende de diferentes factores como ser herencia genética, edad, composición corporal (a mayor masa muscular será mayor su valor), grado de entrenamiento o acondicionamiento físico, pudiendo inducir aumentos sustanciales en su valor de hasta un 20%. (3, 11, 25)

Cuando se determina en el laboratorio el valor de VO_{2max} , no siempre es fácil de alcanzar ya que depende de muchos factores como la voluntad del sujeto, estado físico, motivación. Cuando esto ocurre no se habla de VO_{2max} sino de VO_{2pico} , haciendo referencia al máximo valor que ha alcanzado en una prueba determinada pero que no cumple con todos los criterios de maximabilidad. Este valor depende en gran medida y al igual que el valor de $VO_{2submaximo}$ de las funciones cardíacas, respiratorias, hematológicas y metabólicas. (3, 11)

En sujetos normales no entrenados el VO_{2pico} se encuentra entre los valores de 30 y 45 ml/min. Su determinación se puede utilizar para valorar la capacidad funcional de un deportista, permitiendo determinar y clasificar las limitaciones para la planificación de programas de entrenamiento. (3)

III d.3 Umbral de lactato.

Se define como el punto en el que el lactato sanguíneo comienza a acumularse por encima de los niveles de reposo durante el ejercicio de intensidad creciente. Durante la actividad entre leve y moderada, el lactato sanguíneo permanece solo ligeramente por encima del nivel de reposo. La producción de ácido láctico aumenta por la demanda de energía en esfuerzos más intensos. Es un metabolito producto de la glucólisis aláctica. En la glucólisis láctica siempre hay generación de ácido láctico, sin embargo, cuando hay buena capacidad en el ciclo de Krebs propiciando óptimas condiciones de oxígeno y utilización de este recurso, el desecho resultante que más abunda de la glucólisis es el Acetil-CoA, pero, cuando hay insuficiencia o falta de utilización de oxígeno, el desecho generado es el ácido láctico. El lactato producido va

hacia el hígado donde, por el ciclo de Cori, es convertido a glucosa nuevamente; por lo tanto, dependiendo de la intensidad del ejercicio y del grado de entrenamiento la producción superará o no la remoción de lactato. Con esta información, es natural pensar que en una disminución gradual de la capacidad del uso de oxígeno y al acabarse la suficiencia de éste para metabolizar el piruvato, la cantidad de ácido láctico se empieza a incrementar. Este momento es un punto de deflexión si se ve gráficamente. (3, 13, 15, 13, 26)

El umbral de lactato se expresa generalmente en términos del $\%VO_{2max}$, en el que tiene lugar un desequilibrio entre la elevación de la concentración de lactato sanguíneo y su eliminación (remoción o aclaramiento), en este momento el sistema glucolítico láctico aumenta su contribución al metabolismo energético de modo exponencial. La capacidad para hacer ejercicio a una intensidad elevada sin acumulación de lactato es beneficiosa para los deportistas, puesto que la formación de lactato contribuye a la fatiga, considerando el valor de su umbral como un indicador válido del rendimiento de resistencia que se asocia con una intensidad de ejercicio baja/moderada en atletas de resistencia de alto nivel. En consecuencia, un umbral de lactato al $80\%VO_{2max}$ indica una mayor tolerancia al ejercicio que un umbral del 60% del VO_{2max} . Generalmente en dos individuos con en el mismo consumo máximo de oxígeno, la persona con el umbral de lactato más elevado muestra la mejor capacidad de resistencia. Entonces el umbral de lactato separa dos etapas fisiológicas: etapa I, en la que la intensidad del ejercicio depende principalmente de un metabolismo energético oxidativo, y etapa II, en el que se produce un desequilibrio entre la aparición y la eliminación del lactato, lo que sugiere una mayor contribución glucolítica al ejercicio de esfuerzo. (3, 13, 15, 27)

Los deportistas de elite de resistencia pueden alcanzar un umbral de lactato entre el 70% y el 80% del VO_{2max} . El entrenamiento de resistencia aumenta el umbral de lactato. Después de entrenar resistencia se puede llegar a ritmos de esfuerzo más elevados y a un ritmo absoluto de VO_2 más alto sin elevación del lactato en sangre, evitando la fatiga. Cuando el VO_{2max} aumenta el umbral de lactato se alcanza a un porcentaje más alto del VO_{2max} después de entrenar resistencia. Por lo tanto, las concentraciones de lactato en sangre en cada nivel de una prueba de esfuerzo progresiva por encima del umbral de lactato son menores después del entrenamiento de resistencia. (3, 28, 29)

Este incremento del umbral de lactato parece deberse a varios factores. Entre ellos se cuenta una mayor capacidad para eliminar el lactato producido por los músculos y un incremento de las enzimas de los músculos esqueléticos, junto con un cambio en el

sustrato metabólico como consecuencia del entrenamiento. El resultado neto es una menor producción de lactato para la misma intensidad de esfuerzo. (28, 29)

La concentración máxima de lactato en sangre, en el punto de agotamiento, aumenta muy poco después del entrenamiento de resistencia. Este incremento es relativamente pequeño, sobre todo al compararlo con la magnitud del incremento observado en el entrenamiento para realizar un sprint. (28, 29)

Existen diferentes métodos de prueba de umbral de lactato para poder realizar la predicción del punto donde la concentración de lactato se dispara en forma exponencial, las investigaciones recientes se han centrado en pruebas de resistencia incrementales diseñadas para identificar el punto de transición entre el ejercicio aeróbico y anaeróbico o umbral de lactato. La determinación se puede realizar graficando las diferentes concentraciones de lactato respecto al tiempo de trabajo, como la frecuencia cardiaca; a través de mediciones de VO_2 con un dispositivo inalámbrico registrando los puntos de la curva para determinar el punto de deflexión respecto a la velocidad. La curva de velocidad puede ser generada fácilmente, pues es una línea recta cuando su incremento es constante. (10, 13, 30, 31)

Cuando se grafican las concentraciones de lactato en sangre frente a las cargas utilizadas durante las pruebas incrementales, su umbral se puede determinar mediante métodos de inspección matemática o visual. El primer método se basa en identificarlo como la concentración de lactato a partir de la cual se produce un aumento exponencial. Los métodos matemáticos más utilizados en la determinación son el ajuste algorítmico, logarítmico o de Q-lactato (Q-Lac). El valor del umbral obtenido por ajuste algorítmico está determinado por el punto de intersección entre las concentraciones de lactato en sangre en una intensidad relativa en una regresión lineal computarizada. Este se considera el método gold standar. También existe el método D MAX que traza una curva de lactato versus la carga de trabajo en el eje x. (31, 32, 33)

III e. **Metabolismo de AG y sus adaptaciones al entrenamiento de resistencia.**

Los AG se almacenan en el cuerpo como TG que constan de tres AG unidos a un solo glicerol de tres carbonos. Los TG se fusionan en gotitas de grasa que ocupan ~ 85% de células de tejido adiposo. A diferencia del almacenamiento limitado de glucógeno, tiene una gran capacidad para almacenar grasa, la misma contiene 9 kcal por gramo y se almacena con un mínimo de agua, es una forma de almacenamiento eficiente de energía que se puede movilizar rápidamente. Cuando el ejercicio dura más de varios

minutos, el aporte energético proviene del sistema aeróbico principalmente. Las combustiones tienen lugar durante las oxidaciones de los principios activos (CHO, lípidos y proteínas) implicando la participación directa del oxígeno. Por eso la determinación del metabolismo aeróbico se estima a partir del oxígeno consumido por el organismo, VO_2 . (34, 35, 36, 37)

El gran consumo de combustibles oxidativos por el músculo esquelético durante el ejercicio es suministrado por aumento de la movilización de TG endógeno y glucógeno, ubicado dentro del tejido adiposo, el hígado y el músculo esquelético en sí. Las actividades lipolíticas de todo el cuerpo y captación desde el plasma de AG no esterificadas aumentan progresivamente a lo largo del ejercicio submáximo o de resistencia mientras que las reservas de glucógeno intracelular disminuyen poco a poco; en maratón este ocurre después de unos 30 km y el atleta muchas veces experimenta esto como "el golpe de una pared". El desencadenante de estas sensaciones puede ser una reacción directa del cerebro a la disminución de la concentración de glucosa en sangre. (3, 34, 35, 36)

Las grasas son el principal combustible que se utiliza en el trabajo muscular en ese momento y su uso requiere la movilización de reservas endógenas y entrega a mitocondrias musculares para la oxidación hacia el ciclo de Krebs. Cuando la disponibilidad de grasas es elevada, una parte de los AG se convierte en KB que también son utilizados para obtener energía por los músculos y el cerebro, como el AcAc y el B-HB (en una maratón de 4 horas los almacenamientos de glucógeno quedan prácticamente vacíos). Con el entrenamiento existen muchas adaptaciones en las células como, mayor número de miofibrillas en el tejido muscular, aumento de hasta el 120% de enzimas mitocondriales, aumento de hasta el 50% del glucógeno almacenado, aumento de hasta el 75-100% de la cantidad de TG de reserva. Debido a estos cambios, bajo un programa de entrenamiento de resistencia, la capacidad del sistema metabólico aeróbico aumenta, mejorando especialmente la velocidad y eficiencia del sistema metabólico oxidativo. (3, 5, 10, 38, 39, 40)

La disminución en la utilización del glucógeno intramuscular retarda la aparición de fatiga durante este tipo de ejercicios. La base de este concepto es que la oxidación de AG libres aumenta la relación acetil-CoA / CoA inhibiendo al piruvato deshidrogenasa, además la producción de CoA inhibe la fosfofructoquinasa y por lo tanto la glucólisis. Tal vez la más precoz y común adaptación muscular al entrenamiento es este incremento de la actividad enzimática del metabolismo aeróbico, dentro de la cadena respiratoria mitocondrial y de la β -oxidación. Estos cambios sumados al incremento de

la densidad capilar, mejora en la difusión de O_2 y la remoción eficaz de los desechos metabólicos, mejoran en gran medida el rendimiento bajo un programa de entrenamiento de resistencia. (10, 11, 23, 38, 39)

La beta-oxidación describe el proceso catabólico de eliminar los iones H^+ de los AG a medida que se produce acetil-CoA, que luego se metaboliza aún más dentro del ciclo de Krebs hasta formar CO_2 y H_2O . Una de las enzimas clave de beta-oxidación conocida como β -hidroxi acil-CoA deshidrogenasa está directamente implicada con el aumento de la oxidación de AG en la mitocondria. El entrenamiento aeróbico y las dietas ricas en grasas han demostrado que aumentan la expresión y actividad de esta enzima. (19, 37,41)

El concepto de Fat_{Max} es la intensidad de ejercicio que se asocia con una máxima oxidación de grasa; esta zona se encuentra entre 55,3% y 72,4% VO_{2max} , que equivale a 68,3% y 79,3% de $FC_{m\acute{a}x}$, respectivamente. A intensidades de ejercicio por encima de estos valores las tasas de oxidación de grasas disminuyen marcadamente. La contribución de la oxidación de grasas al gasto energético es insignificante por encima de 89,3% VO_{2max} . (5, 37, 40, 42).

III e.1 **Determinación de la oxidación de sustratos:**

El metabolismo basal y el gasto que requiere cualquier actividad física, es decir el VO_2 que se utiliza para la generación de energía en forma de ATP, se pueden determinar por calorimetría, la cual puede ser directa o indirecta. (3, 44)

El fundamento de la calorimetría directa está basado en considerar que la energía producida por el conjunto de reacciones que tienen lugar en el organismo y que constituyen el metabolismo es equiparable al calor disipado durante la actividad física. Por lo tanto, midiendo la energía térmica disipada se obtendrá un buen índice de la intensidad metabólica, siempre teniendo en cuenta que el metabolismo basal también libera una parte en forma de calor, que no es tenida en cuenta en este cálculo. Durante la realización de un ejercicio físico, el 75% de la energía química producida por los músculos se manifiesta como calor, mientras que el 25% como energía mecánica, por lo tanto, la energía producida por el ejercicio será un 25% superior a la que estimamos por el calor disipado. Esta producción de calor se mide con un calorímetro, que es una cámara habitable térmicamente aislada, dentro de la cual se realiza la actividad física. El calor que el sujeto elimina va siendo retirado de la cámara y medido a través de diferentes métodos. Por ejemplo, el método más conocido es la cámara de Atwater, en la cual el calor producido es absorbido por el agua que pasa a

través de ésta y cuantificado mediante termosensores o termómetros que registran la temperatura a la entrada y a la salida en un tiempo determinado. Esta técnica es altamente precisa, mide directamente la energía producida, aunque su aplicabilidad es reducida. Por otro lado, no aporta información acerca de la utilización de sustratos. (3, 15, 44)

Otra de las técnicas para determinar la energía que se consume es el método de calorimetría indirecta, es un método no invasivo que permite estimar la producción de energía equivalente a la tasa metabólica basal y la tasa de oxidación de los sustratos energéticos. La denominación "indirecta" señala que el gasto metabólico se determina por medio de los equivalentes calóricos del O_2 consumido y CO_2 producido, cuyas cantidades difieren según el sustrato energético que esté siendo utilizado. La producción de energía corresponde a la conversión de la energía química contenida en los nutrientes en energía química almacenada como ATP y en la energía disipada como calor, durante el proceso de oxidación. Por lo tanto, si se mide el oxígeno utilizado se puede tener una evaluación indirecta de la producción de energía. El O_2 utilizado es igual al que obtenemos a través del análisis de intercambio gaseoso, midiendo volumen de la ventilación y concentraciones de O_2 en el aire inspirado y espirado. Ese O_2 extraído es devuelto a la atmósfera en forma de CO_2 y H_2O generados en la cadena electrónica mitocondrial cuando se forman las moléculas de ATP. En general la cantidad de oxígeno necesario para oxidar completamente una molécula de CHO o de grasa es proporcional a la cantidad de carbono existente en dicho combustible. Aunque las grasas proporcionen más energía que los CHO, se necesita más oxígeno para oxidar las grasas. (3, 15, 44)

La relación que existe entre el CO_2 espirado y el O_2 consumido (CO_2/O_2) se conoce como RER (cociente respiratorio ventilatorio), este depende del sustrato metabólico utilizado. Dado que la función energética de las proteínas es muy pequeña, a menudo se desprecia su contribución energética para los cálculos de energía producida durante la actividad física, considerándose únicamente como sustratos energéticos las grasas y los CHO, hablamos de cociente RER no proteico. (3, 15)

Los valores de RER varían según la ingesta, por lo tanto, una vez calculado el RER y considerándolo como no proteico, sabremos en qué proporción se están empleando CHO o grasas durante la actividad física en ese momento. (3)

$$\text{RER} = \text{VCO}_2 / \text{VO}_2$$

Relación de intercambio respiratorio.	% de grasas oxidado.	% de hidrato de carbono oxidado
0.71	100	0
0.75	84.4	15.6
0.80	66.6	33.4
0.85	49.3	50.7
0.90	32.5	67.5
0.95	16.0	84.0
1.00	0	100

Tabla 3 confeccionada por autoras. (15)

La principal limitación de este método es que solo puede ser empleado en situaciones en que el ejercicio solo se realiza en condiciones submáximas y de equilibrio estable, ya que es en estas situaciones en las que el CO₂ eliminado procede fundamentalmente de la oxidación de los principios inmediatos. En situaciones en donde la concentración de H⁺ en sangre es elevada, el pH sanguíneo es amortiguado por el bicarbonato disuelto en sangre, generándose CO₂ como un producto de eliminación entonces, no todo el CO₂ cuantificado por espirómetro provendría de la combustión de sustratos, lo que si sucedería en condiciones de ejercicio físico que produzcan ácido láctico de manera despreciable (condiciones submáximas). (3, 45,46)

III f. **Dieta cetogénica.**

Gran parte de la descomposición inicial de los AG ocurre en el hígado. Cuando las cadenas de AG se desdoblán en moléculas de aceti-CoA, dos de ellas se condensan para formar AcAc, que la sangre transporta a otras células del organismo para ser utilizada como energía. Parte de este nuevo ácido se convierte también en B-HB y en menor cantidad en acetona. (38, 39)

Estas tres moléculas llamadas KB, difunden libremente en las membranas celulares hepáticas y son liberadas a sangre, una vez que llegan a los diferentes tejidos difunden nuevamente dentro de las células y vuelven a convertirse en acetyl-CoA para ser utilizado como energía. Si la cantidad disponible de CHO para producir energía es muy baja aumenta de manera automática la extracción de AG del tejido adiposo. (38, 39)

Las células solo pueden oxidar una cantidad limitada de KB y frente a una ingesta baja de CHO en una dieta cetogénica, se produce una disminución del oxalacetato (derivado de los CHO y componente del ciclo de Krebs), que es necesario para la oxidación de acetil-CoA. Por lo tanto, no puede producirse energía a partir de esta molécula. Si la falta de CHO continúa y el hígado sigue vertiendo a sangre KB, el pH baja cada vez más lo que puede llevar a serios problemas como es la cetoacidosis metabólica (acidosis producida por el exceso de KB en sangre). (23, 38, 39)

Una dieta cetogénica "bien formulada" se caracteriza generalmente por una ingesta total de CHO inferior a 50 g/d, aproximadamente 1,5 g/d/kg de proteínas y entre 75-80 del % de ingesta diaria total de las grasas. (47, 48)

Normalmente el aumento de B-HB y AcAc de concentraciones menores de 0,3 mmol/l a concentraciones de 0,5 – 3 mmol/l, es el rango de cetosis nutricional determinada por las mediciones del B-HB. El rango de cetosis nutricional está por debajo de 5-10 mmol/l para B-HB que ocurre durante períodos prolongados en ayunas y muy por debajo de las concentraciones características de cetoacidosis. Los principales KB son AcAc y B-HB, que generalmente circulan en concentraciones equimolares bajas (<0,5 mmol/l en sangre adulta sana después de un ayuno nocturno) (47, 49)

Los KB se pueden medir en suero, plasma o muestras de sangre total utilizando analizadores de laboratorio, o en muestras de punción digital utilizando sangre capilar; otra manera de medirla es a través de la orina, pero reaccionan solo con AcAc y acetona, no con B-HB. (49)

III f.1 Fundamentos fisiológicos y bioquímicos de las dietas cetogénicas.

Cuando se consume una dieta donde predominan los CHO, el cuerpo los utiliza como la principal fuente de energía en lugar de las grasas. Esto es debido a que la insulina bloquea la lipólisis, mediante la inhibición de la lipasa del adipocito, y permite la entrada de glucosa al interior de la célula grasa. Esta glucosa es convertida en TG dentro del adipocito a través de su transformación en acetil-CoA y alfa-glicerofosfato. Las moléculas de acetil-CoA se combinan entre sí para formar AG; dos moléculas de estos AG se unen a una de glicerol a través del DAGT para formar la molécula de TG. Los AG que provienen de la dieta necesitan la acción de la glucosa y de la insulina para ser transformadas en TG dentro de la célula grasa, ya que la insulina permite la entrada de la glucosa en el adipocito y la glucosa es necesaria para la formación de alfa-glicerofosfato, que es el principal suministro de glicerol a los AG para que estos puedan transformarse en TG y así ser almacenados. (19, 23, 50)

El último paso en la síntesis de TG es la unión de glicerol a los AG, una reacción que es catalizada por el DAGT. Si por alguna razón este último paso no se produce, ya sea debido a una deficiencia de glucosa e insulina que asegure el suministro de glicerol o por un fallo en la propia enzima DAGT, sería lógico asumir que se producirá una interrupción en la síntesis de TG. Por lo tanto, los niveles bajos de insulina en una dieta cetogenica deberían producir este último efecto, la interrupción de la síntesis de TG, lo cual sería una de las posibles explicaciones de la gran pérdida de masa grasa cuando se aplica esta dieta. (19, 23, 50)

III f.2 Eficiencia de la dieta en la pérdida de peso

Algunos aspectos importantes que pueden explicar la pérdida de peso y grasa son la disminución del apetito y otros aspectos fisiológicos. (19, 23, 50)

El primero está determinado por el efecto saciante de estas dietas, debido a que las grasas y proteínas son capaces de prolongar la sensación de saciedad ya que permanecen en el estómago durante un mayor tiempo que los CHO; en este efecto saciante también interviene el B-HB, que es el KB más abundante y tiene capacidad de inhibir directamente el centro del apetito. La suspensión del apetito producida por la colecistoquinina es estimulada por el consumo de grasas y proteínas y no por los CHO. El bajo índice glucémico provocado por estas dietas reduce las fluctuaciones en las concentraciones plasmáticas de glucosa, evitando episodios de hipoglucemia reduciendo el apetito. (19, 23, 50)

A su vez las proteínas tienen un efecto anorexigénico superior al de los CHO, que está mediado por un aumento en la sensibilidad del sistema nervioso central hacia la leptina y un descenso en las concentraciones plasmáticas postprandiales de ghrelina (hormona producida por las células de la pared gástrica, estimula el apetito). La leptina es producida por el tejido adiposo y tiene la capacidad de reducir el apetito a nivel de sistema nervioso central. (19, 23, 50)

Sumado a esto, a través del punto de vista fisiológico puede explicarse ya que existe una asociación entre los niveles plasmáticos y los niveles urinarios de cetonas, además de que la acetona se caracteriza por ser volátil y por tanto eliminarse en parte a través del aliento, provocando una pérdida energética a través de la eliminación urinaria y del aliento de las cetonas. (19, 23, 50)

Además, en el proceso gluconeogénico también hay una importante pérdida energética, debido al hecho de que son necesarios 100g de proteína de calidad media para formar sólo 57g de glucosa, lo que supondría una pérdida energética de

aproximadamente el 43% si asumimos que la equivalencia energética de que 1g de glucosa aporta aproximadamente la misma energía que 1g de proteína, es decir 4-5 Kcal/g. De hecho, la rotura endógena de 11g de proteína, que es necesaria para formar aproximadamente de 60 a 65g de glucosa, supone una pérdida energética diaria de aproximadamente 400-600kcal/día. Además, durante la formación de un mol de glucosa a partir de la alanina, se pierden seis moles de ATP. Esta pérdida energética es muy significativa ya que un mol de glucosa da 38 de ATP por lo que la pérdida de seis moles de ATP supondría una pérdida energética de casi el 16% en el proceso gluconeogénico procedente de la alanina, siendo que es metabólicamente más fácil que para otros aminoácidos, ya que tienen configuraciones químicas que dificultan dicho proceso. Siendo una pérdida energética del 43% la mínima. (19, 23, 50)

III g. **Métodos de evaluación de composición corporal.**

Algunas de las principales técnicas de valoración de la composición corporal son:

Dual-energy X-ray absorptiometry (DEXA o DXA): mide el porcentaje de grasa, músculo y el mineral óseo corporal total utilizando dos energías de rayos X. Si bien DEXA es el gold standar para las mediciones de la densidad mineral ósea, también se utiliza para estimar la grasa corporal total y regional y la masa magra total. Este método ha demostrado ser más preciso que los métodos de densidad corporal para estimar la grasa corporal total. El análisis DEXA asume una hidratación constante de los tejidos blandos magros, pero la hidratación varía con la edad, el sexo y el estado de salud, esto podría ser una posible limitación. Se ha informado de la repetibilidad en el rango de 1-2% grasa corporal y 0.5-2% para la masa magra total para DEXA. (51)

Análisis de impedancia bioeléctrica: no mide la composición corporal directamente, sino que lo hace mediante la medición de dos parámetros: la resistencia corporal y la reactancia. Mide la resistencia o impedancia del cuerpo a una corriente eléctrica pequeña, indetectable para el sujeto. El principio de este método es que el tejido magro, que consiste en agua y electrolitos, es un buen conductor eléctrico, mientras que la grasa, que posee menos agua, es un mal conductor. Las posibles fuentes de error de este método son las diferencias en la longitud de las extremidades, la actividad física, el estado nutricional, el nivel de hidratación, la química sanguínea, la ovulación y la colocación de electrodos. Es un método sencillo, fácil de utilizar y es una técnica no invasiva (52, 53).

El IMC es calculado con el peso en kilogramos dividido por la altura al cuadrado en metros (kg/m^2). Se utilizan los puntos de corte de este índice establecidos por la OMS que define un IMC < 18,5 con delgadez, entre 18,5 y 24,9 normal, entre 25 y 29,9 con sobrepeso y de 30 a más con obesidad. Se usa ampliamente para estimar la grasa corporal ya que es simple y económico. El porcentaje de grasa corporal para un IMC dado cambia con la edad y la tasa de este cambio varía según el sexo, la etnia y las diferencias individuales. Además, el IMC no es sensible a la distribución real de la grasa corporal y al riesgo metabólico. (53, 54)

La cineantropometría es una ciencia que estudia la forma, composición y proporción del cuerpo humano con medidas. El objetivo es comprender el movimiento humano en relación con el ejercicio, el desarrollo, la nutrición, la salud, etc. Las normas antropométricas internacionales son aplicadas por la Sociedad Internacional para el Avance de la Cineantropometría (International Society for the Advancement of Kinanthropometry [ISAK]), que es una organización internacional de regulación y cuyo sistema de acreditación está en vigencia. Se efectúan diferentes medidas del tamaño y las proporciones. Una vez realizadas las mediciones, el antropometrista puede emplear una serie de herramientas utilizando varias ecuaciones para el análisis de datos. Estos incluyen el somatotipo, el fraccionamiento de las masas corporales en componentes de masa ósea, muscular, adiposa y residual, proporcionalidad, predicción de la densidad corporal (y posteriormente del porcentaje de grasa corporal) utilizando una serie de ecuaciones de regresión. El medir los pliegues se usa para estimar la composición corporal en múltiples poblaciones y con diferentes características (los niños, adultos y deportistas). Proporcionando una buena descripción del cuerpo en su totalidad. La adopción de un perfil y una metodología estandarizados permite que se realicen comparaciones a nivel local, nacional e internacional entre grupos de muestra. (43)

IV. **Justificación:**

Hoy en día las dietas cetogénicas han ganado mucho interés en el ámbito deportivo sugiriendo que los KB pueden representar un interminable sustrato metabólico capaz de sostener la energía requerida en los distintos tipos de entrenamiento de resistencia, generando un aumento del rendimiento deportivo. Esta investigación permitirá ampliar el conocimiento acerca de los beneficios proporcionados por los diferentes métodos de entrenamiento de resistencia, en deportistas que estén utilizando una dieta cetogénica. De esta manera, esta información ayudará a determinar qué tipo de entrenamiento presenta mejoras en el rendimiento y evita su deterioro; y en qué período de la planificación sería de conveniencia aplicar una dieta de este tipo.

V. Materiales y métodos:

Para el desarrollo de este trabajo se realizó una revisión bibliográfica. Buscando en bases de datos virtuales y en materiales físicos, utilizando para el caso de las primeras PubMed, SCielo, NCBI, Elsevier, Europe PMC, Medigraphic, Archivos de Medicina del Deporte y Revista Fundación Española del Corazón, usando los terminos DeCS, MeSH y términos libres para realizar la búsqueda; y recurriendo a libros y revistas online. Se utilizaron los términos DeCS, MeSH y términos libres para realizar la búsqueda.

Se realizó una búsqueda utilizando cada uno de los términos DeCs/MeSH, juntos a sus sinónimos y otros términos libres, empleando el conector “AND”.

A fin de cumplir con los objetivos del presente y para el análisis de datos de los ensayos clínicos encontrados, solo se analizaron los valores de los parámetros escogidos, arrojados bajo la intervención de las dietas cetogénicas, por lo que el número de muestra se redujo a la cantidad de participantes que realizaron esta dieta. Los parámetros escogidos fueron: el VO_{2pico} , $VO_{2submáximo}$, umbral de lactato y lactato en sangre (parámetros de rendimiento deportivo) y nivel de cetosis nutricional, relación de intercambio respiratorio (RER) y masa grasa corporal; estos últimos son parámetros fisiológicos que influyen en el rendimiento deportivo.

Términos:

DeCS:

- dietas bajas en carbohidratos
- dieta cetogenica
- cetosis
- composición corporal
- impedancia bioeléctrica
- pliegues cutáneos
- entrenamiento continuo
- entrenamiento intervalo
- ácido láctico
- ejercicio físico
- modelo experimental
- consumo de oxígeno
- capacidad funcional

MeSH:

- Ketosis
- keto-adaptation
- performance sport
- endurance sport
- lactate concentration
- performance
- resistance exercises
- endurance training
- economy
- physiology
- physical exercise
- cycling
- lipid metabolism
- lipid diet
- fat oxidation
- endurance capacity
- ketone bodies
- cardiorespiratory endurance
- exertion
- cycle ergometer
- onset of metabolic acidosis
- running
- physiological adaptation
- carbohydrate recommendations
- endurance
- incremental-intensity test
- performance limiting factors
- oxygen transp
- marathon
- resistance exercises
- ventilatory threshold
- endurance training
- lactate oxidation
- lactate threshold
- mechanical fatigue
- anaerobic threshold
- athleticperformance
- fatty acid cycle
- running economy
- exercise
- pulmonary ventilation
- oxygen transport
- fat metabolism
- exercise testing
- exercise test
- mechanical fatigue

Términos libres:

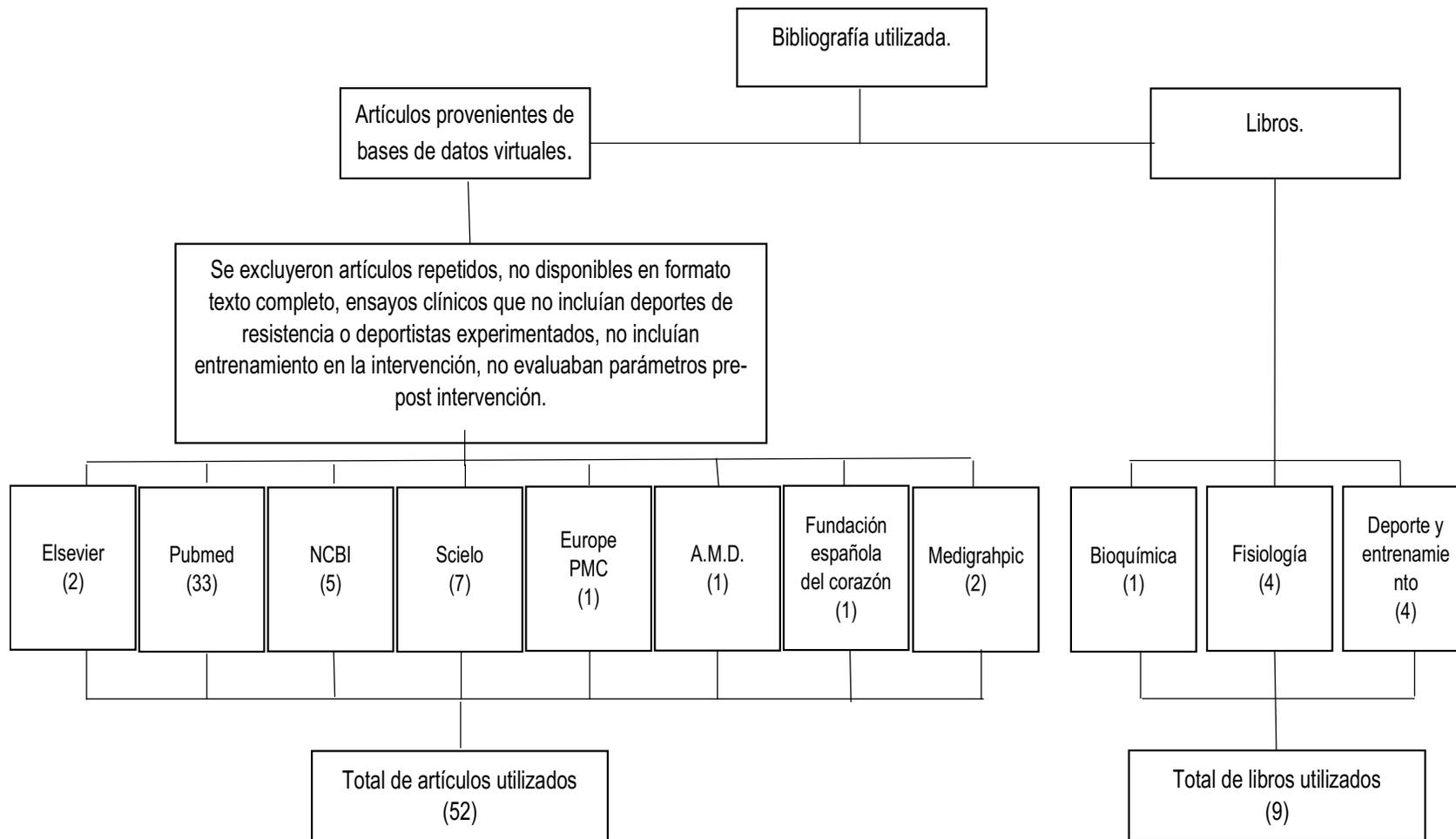
- vo2max
- indirect calorimetry
- fatty acid cycling
- low-carbohydrate
- fatty acid transport
- total body dxa in athletes
- onset of metabolic acidosis

Combinaciones:

Combinaciones PubMed.
``ventilatory threshold`` AND ``cardiorespiratory endurance`` AND ``resistance exercises``
``endurance training`` AND ``exercise`` AND ``lactate oxidation`` AND ``maximal lactate steady state (MLSS)`` AND ``exertion``
``lactate concentration`` AND ``onset of metabolic acidosis``
``maximal lactate steady state(mlss)`` AND ``lactate threshold`` AND ``ventilatory threshold`` AND ``anaerobic threshold``
``mechanical fatigue`` AND ``cycle ergometer``
``endurance`` AND ``physiology`` AND ``pulmonary ventilation`` AND ``running``
``exercise`` AND ``oxygen transport`` AND ``marathon`` AND ``running`` AND ``running economy`` AND ``lactate threshold``
``indirect calorimetry`` AND ``fat metabolism``
``exercise`` AND ``fat oxidation`` AND ``fatty acid transport`` AND ``ketoadaptation`` AND ``lipid metabolism``
``physical exercise`` AND ``lipid metabolism`` AND ``lipid diet`` AND ``endurance``
``exercise testing`` AND ``fat metabolism`` AND ``indirect calorimetry`` AND ``cycling``
``ketosis`` AND ``keto-adaptation`` AND ``low-carbohydrate`` AND ``performance`` AND ``endurance`` AND ``economy``
``total body dxa in athletes``
``physical exercise`` AND ``lipid metabolism`` AND ``lipid diet`` AND ``endurance capacity`` AND ``fatty acid cycle``
``lipólisis`` AND ``fat oxidation`` AND ``fuel selection`` AND ``exercise``
Combinaciones NCBI.
``athletic performance`` AND ``exercise economy``
``low-carbohydrate diets`` AND ``ketogenic diets`` AND ``ketogenesis`` AND ``ketosis`` AND ``ketone bodies`` AND ``fatty acids``
``performance limiting factors`` AND ``incremental-intensity test``
``ketogenic diet`` AND ``metabolism`` AND ``ketone bodies``
Combinaciones Scielo.
``Ácido láctico`` AND ``modelo experimental``
``Physiological adaptation`` AND ``Sports`` AND ``Exercise training`` AND ``Athletic performance``
``dietas bajas en carbohidratos`` AND ``cetosis``
``metabolismo energético`` AND ``composición corporal`` AND ``calorimetría indirecta`` AND ``impedancia eléctrica``
``actividad física`` AND ``entrenamiento continuo`` AND ``entrenamiento intervalo``
``Índice de masa corporal`` AND ``grasa corporal`` AND ``bioimpedancia`` AND ``composición corporal``
``dietas altas en proteínas`` AND ``dietas bajas en carbohidratos`` AND ``cetosis`` AND ``glucolítico`` AND ``lipolítico``
``Composición corporal`` AND ``transición nutricional`` AND ``pliegues cutáneos`` AND ``índice de masa corporal`` AND ``impedancia bioeléctrica``
Combinaciones Elsevier.
``monitorización de frecuencia cardiaca`` AND ``ejercicio físico``
Combinaciones Medigraphic.
``formula gasto cardiaco``
`` Prueba Cardiorrespiratoria`` AND ``Consumo de oxígeno`` AND ``Ejercicio Físico``
`` Lactic acid`` AND ``blood sample analyzer``

Combinaciones Europe PMC.
"blood lactate concentration" and "lactate threshold" and "methods for detection"
Combinaciones A.M.D.
"método de determinación del Vo_{2max} ." "método de determinación del $Vo_{2submaximo}$ "
Combinaciones fundación española del corazón.
"zonas de entrenamiento" AND "intensidades" AND "entrenamiento aeróbico"

Tabla 4 confeccionada por autoras.



Organigrama confeccionado por autoras.

VI. Resultados.

Para la realización de esta tesina se analizaron siete ensayos clínicos en los cuales se aplicó a los participantes diferentes tipos de dietas junto con un programa de entrenamiento. Algunos de ellos utilizaron a los mismos participantes para todas las aplicaciones dietarias (ensayos n° 1, 3, 4 y 5) con la implementación de un periodo de lavado entre una dieta y otra, mientras que otros ensayos dividieron a la muestra aplicando diferentes intervenciones dietarias a cada grupo y manteniendo el mismo tipo de entrenamiento (n°7 y 2); y en el ensayo n° 6, solo se le aplicó la intervención dietaria cetogénica. Así mismo todos los ensayos tenían en común como criterio de inclusión que los participantes no debían haber realizado ningún tipo de dieta baja en CHO previamente. Los ensayos (n° 1, 4, 5 y 6) no detallaron exactamente el tipo de intervención de entrenamiento, mientras que los ensayos (n° 2 y 3) tuvieron un programa y control riguroso del mismo.

A su vez cada ensayo presentó diferentes objetivos, por lo que no en todos ellos se presentaron todos los parámetros escogidos como determinantes del rendimiento en esta tesina.

Objetivos:

- El ensayo n° 1 tenía como objetivo investigar el efecto de una dieta cetogénica de 31 días sobre la capacidad y la eficiencia del ejercicio submáximo en ocho atletas de resistencia masculinos entrenados. (55)
- El ensayo n° 2 tenía como objetivo estudiar los cambios a largo plazo del estado ácido-base asociado con adaptaciones a diferentes dietas que pueden alterar las concentraciones en el pH y bicarbonato sanguíneo, tras generar adaptación a una dieta cetogénica sostenida o disponibilidad periodizada de carbohidratos durante 21 días en tales marcadores antes y después del ejercicio en atletas de élite, y si los cálculos NEAP son capaces de predecir o explicar cualquier cambio en el rendimiento. (56)
- El ensayo n° 3 tenía como objetivo investigar las implicaciones del rendimiento a largo plazo (12 semanas) de consumir una dieta cetogénica sobre el rendimiento para atletas de resistencia competitiva. (57)
- El ensayo n° 4 tenía como objetivo determinar rendimiento en atletas recreativos competitivos se vería afectado durante un período de adaptación de 6 semanas a una dieta baja en carbohidratos y alta en grasas, en comparación

con sus rendimientos cuando consumían una dieta alta en carbohidratos y baja en grasas. (58)

- En el ensayo n°5 tenía como objetivo determinar los efectos a largo plazo de una dieta cetogenica, sobre el rendimiento aeróbico en ciclistas todo terreno; también determinar los efectos sobre la masa corporal, evaluando la composición corporal, lo que ocurría en los perfiles lipídicos y lipoproteínas, los efectos de la cetoadaptación sobre las concentraciones en reposo y ejercicio de las hormonas y metabolitos. (59)
- El ensayo n° 6 tenía como objetivo investigar los efectos de una dieta cetogenica en 10 semanas sobre la composición corporal y los resultados de rendimiento en cinco atletas de residencia de nueva Zelanda y también para evaluar cualitativamente las experiencias de los atletas al realizar la dieta cetogenica durante su temporada de entrenamiento. (60)
- El ensayo n° 7 tenía varios objetivos; replicar las intervenciones dietéticas de 3.5 semanas en un grupo más amplio de marchistas de elite, incluyendo mujeres para investigar la solidez de los hallazgos anteriores (aumento de costo del oxígeno y la capacidad disminuida para el ejercicio a mayor intensidad de 75% VO_{2max} alimentado por altas tasas de oxidación de grasas); y para ver si la adaptación previa a una dieta cetogenica logra beneficios de arrastre cuando los participantes reanudan una dieta con alta disponibilidad de CHO durante ~3 semanas antes de competir. (61)

IV a.

Ensayo clínico.	Duración del estudio.	N°	Características de muestra	Composición de la dieta y tiempo de aplicación.	Provisión/ evaluación de la dieta	Evaluación de cetosis nutricional	Medición de lactato/ umbral de lactato.	Protocolo de entrenamiento	Composición corporal	Test de VO _{2max}	Test sub máximo	Determinación de RER.
1 (55)	2, 5 meses.	8	Atletas de 29+5 años. 2 triatlonistas, 2 maratonistas y 4 ultramaratón. Con consumo de dieta mixta por más de 1 año; peso estable por más de 1 mes; corredores de más de 50km/sem; maratonistas de más de 3 hs.	Dieta KD: < 50g/d de CHO, 15-20%/día de proteínas. 75-80%/día 21 de grasas. Aplicación: 31 días.	Menús personalizados. Reporte fotográfico, telefónico y online de la dieta.	concentración diaria de AcAc en orina. Y 5 días no consecutivos, concentración de B-HB en sangre capilar.	Umbral de lactato a través de lactato en sangre.	Entrenamientos específicos en base a su deporte, incluyendo correr y bicicleta. Informe diario del tiempo de duración de la sesión, escala de borg y FC.	Método ISAK n° 1. Sumatoria de 8 pliegue. Informe diario del peso.	Test de esfuerzo continuo en cinta de correr. Hasta agotamiento volitivo.	Test de esfuerzo continuo en cinta de correr. Hasta agotamiento volitivo.	Espirometría (Parvo Medics TrueOne 2400, Salt Lake City, UT).
2 (56)	3 semanas	9	Atletas mixtos, corredores de elite.	<50g/día de CHO. 1,8g/km/día de proteínas. 75-80% de ingesta diaria de GRASAS. Aplicación: 21 días.	comidas preparadas y supervisadas por chefs. menús personalizados con posibilidad de aumento o disminución de cantidades.	No informa	Umbral de lactato, lactato capilar fin de cada etapa de la prueba.	12 sesiones semanales, 6 de marcha supervisadas (entrenamiento interválico, de baja intensidad, continua de carga progresiva e hidroterapia) Las sesiones restantes	No informa	Test de esfuerzo continuo en cinta de correr. Hasta agotamiento volitivo.	No informa	No informa

								podían ser libres, pero debían registrarlas.				
3 (57)	12 semanas	9	Atletas de resistencia de mínimo 2 años, entre 18 y 40 años que consumían habitualmente 50% de hc diarios.	<50g/dia de CHO, 10-15%/consumo diario de proteínas. 75% de consumo diario de GRASAS. Aplicación 12 semanas.	Contacto semanal para controlar la dieta.	Análisis de sangre de B-HB.	Umbral de lactato a través de sangre capilar.	7hs semanales de entrenamiento o de resistencia continuo intensidad 56-68% vo2max. Dos sesiones de fuerza hipertrofia del 70-80%. Y entrenamiento o HIIT.	Método DXA	Test de esfuerzo continuo en cicloergómetro por 100km + 3' a máxima potencia. (test TPT).	Test de esfuerzo continuo ergometría en bici. Test TT (100km).	Espirometría (MOXUS (AEI Technologies, Chicago, IL)
4 (58)	14 semanas	7	Hombres de 18-45 años. Que hayan completado carrera de 5km en menos de 21min en los últimos 3 meses. Entrenamiento de 20 millas por semana. Mas de dos años de experiencia en entrenamiento. Consumo actualmente de dieta mixta.	<50g/dia de CHO. 75-80% ingesta diaria de GRASAS. 15-20% ingesta diaria de proteínas. Sin restricción calórica. Aplicación 6 semanas.	Informe dietético de 2 días semanales y 1 de fin de semana. Peso de todos los alimentos.	Análisis de sangre de B-HB.	lactato en sangre pre-post de cada prueba.	Análisis previo del entrenamiento, frecuencia de entrenamiento o habitual.	Método de bioimpedancia	Prueba de esfuerzo máximo en cinta ergométrica con aumento de pendiente hasta agotamiento volitivo.	Test cinta de correr 5km contra reloj. test TT.	Espirometría de la prueba TT. (TrueOne 2400, ParvoMedics, Sandy, UT)

5 (59)	8 meses	8	Masculinos 28.3 +- 3,9 años. que compitieron en todoterreno. ciclismo con una experiencia de entrenamiento de al menos 5 años y un VO _{2max} mínimo de 55 mL / kg / min	Dieta keto (70% AG, 15% proteínas y CHO) valor calórico medio de las dietas. igualó 3865 ± 156 kcal. Aplicación 4 semanas.	Dietista certificado, uso del programa computarizado , dieta5.	Análisis de sangre de B-HB.	Umbral de lactato, método D-max.	Incluyo trabajos de alto volumen e intensidad moderada.	Método de impedancia eléctrica (inbody 720)	Cicloergómetro progresivo o hasta agotamiento volitivo.	Test de esfuerzo continuo en cicloergómetro de intensidad variada, durante 105'.	espirometría (MetaLyzer 3B-R2, Cortex, Berlín, Alemania)
6 (60)	10 semanas	5	4mujeres, 1 hombre. Compiten regularmente en eventos de resistencia de alto nivel durante al menos 5 años. No fumadores, sanos y libres de lesiones y no consumir un bajo Dieta de carbohidratos.	<50gr CHOtotal por día; 1,5g/kg/d de proteína y AG ad ablivitum. Aplicación: 10 semans	Monitoreo semanal computarizado por análisis de Easy Diet Diary.	B-HB capilar, diariamente.	Umbral de lactato	Ciclistas de montaña, ciclismo de carretera, eventos de running y multideportivo, debían mantener los volúmenes de entrenamiento.	Sumatoria de 8 pliegues, isak 1.	Electroimán ciclo ergómetro controlado, progresivo o hasta agotamiento volitivo.	Electroimán ciclo ergómetro controlado, progresivo hasta agotamiento volitivo	espirometría. (Metamax 3b, Cortex, Leipzig, Alemania)

7 (61)	5 ½ semanas	10	Deportistas de marcha atlética con participaciones internacionales	LCHF: 75 a 80% AG, 15 a 20% proteínas y <50g/d CHO. Aplicación: 21 días.	Proporcionados y registrados por el equipo de nutrición deportiva de AIS; con prescripción y notificación diaria.	B-HB capilar en la prueba.	Lactato en sangre.	3 semanas de entrenamiento o intensificado que incorpore, marcha, resistencia y entreno cruzado. 6 sesiones semanales obligatorias. (primera intervención)	Densitometría ósea	Prueba en cinta de caminar hasta agotamiento volitivo con incremento de la rampa.	Prueba en cinta de caminar hasta agotamiento volitivo con incremento de la rampa	espirometría
--------	-------------	----	--	---	---	----------------------------	--------------------	--	--------------------	---	--	--------------

Tabla 5 confeccionada por autoras.

Ref. Bibliograf.	VO ₂ pico	VO ₂ submax	Estado de cetosis nutricional	RER.	Lactato		Masa grasa corporal.
					Umbral	sangre	
1	↑ P < 0,05	↑ P<0,05	>o = 0,5 mmol/l	↓ P<0,001.	↑ P=0,02		↓ P<0,002
2	↑ p< 0,05	No informa	1mmol/l	No informa	No informa	↓ p<0,05	No informa
3	↑ P=0,96	No informa	0,5 mmol/l P=0,011	↓	No informa	▬ p<0,05	↓ P=0.008
4	↑ p= 0,027	↑ p=0,588	0,55 +-0,39 mmol/l P=0,284	↓ p=0,001	No informa	↓ P=0,417	▬ P=0,176
5	↑ P=0,001	↑ p=0,001	>0,5 p<0,05	↓ p= 0,001	↑ p=0,012	No informa	↓ P=0,001
6	↓ P=0,63	↓	>0,5 mmol/l.	↓ p= 0,001	▬ P=0.77.	No informa	↓
7	↑ p=0,05	↑ P< 0,001	>0,5mmol/l p=0,001	↓ P=0,001	No informa	↓ P=0,001	No informa

Tabla 6 confeccionada por autoras.

Referencias:

↑ Aumenta ↓ Disminuye ▬ No Varía

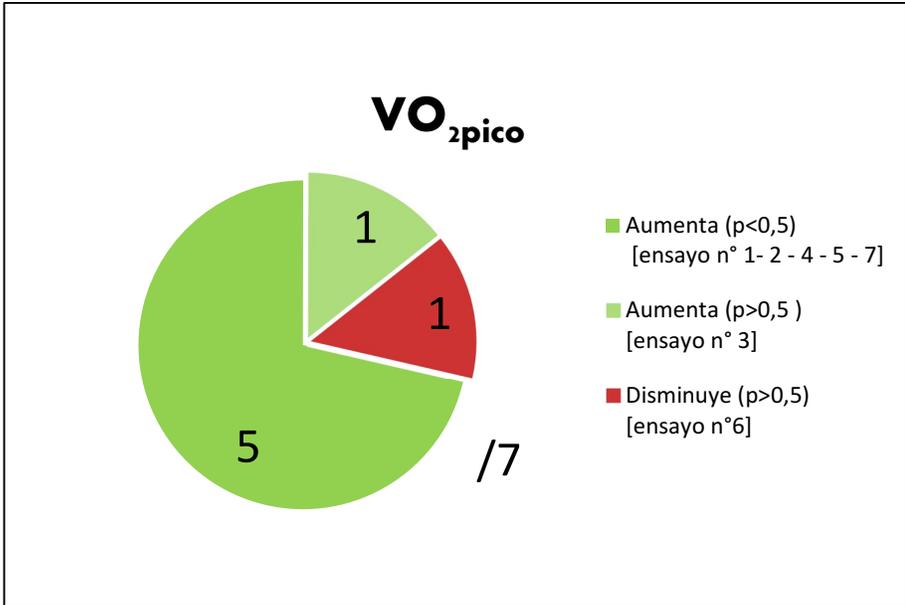


Gráfico 1 confeccionado por autoras: representación de los datos del VO_{2pico} de la tabla 6.

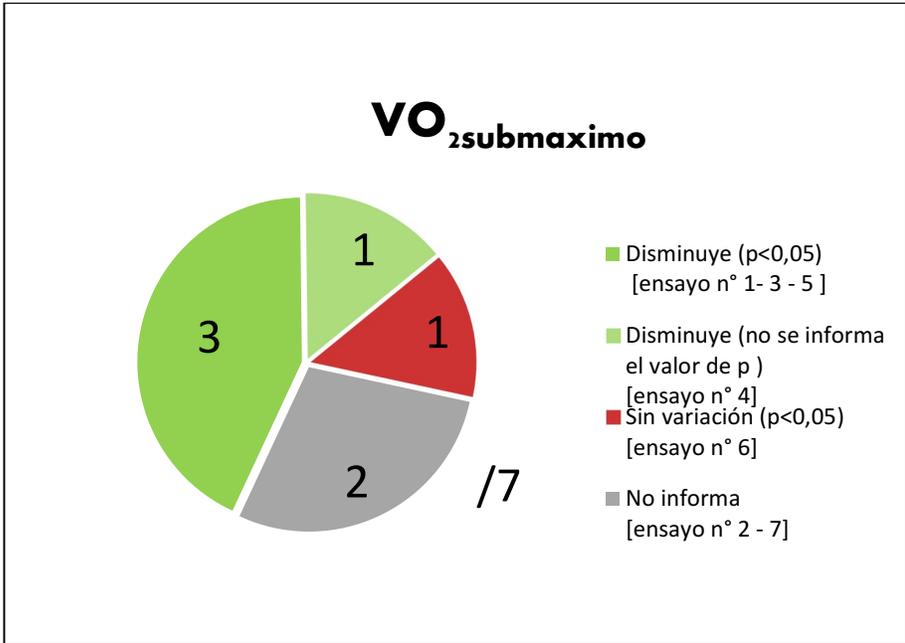


Gráfico 2 confeccionado por autoras: representación de los datos del VO_{2submáximo} de la tabla 6.

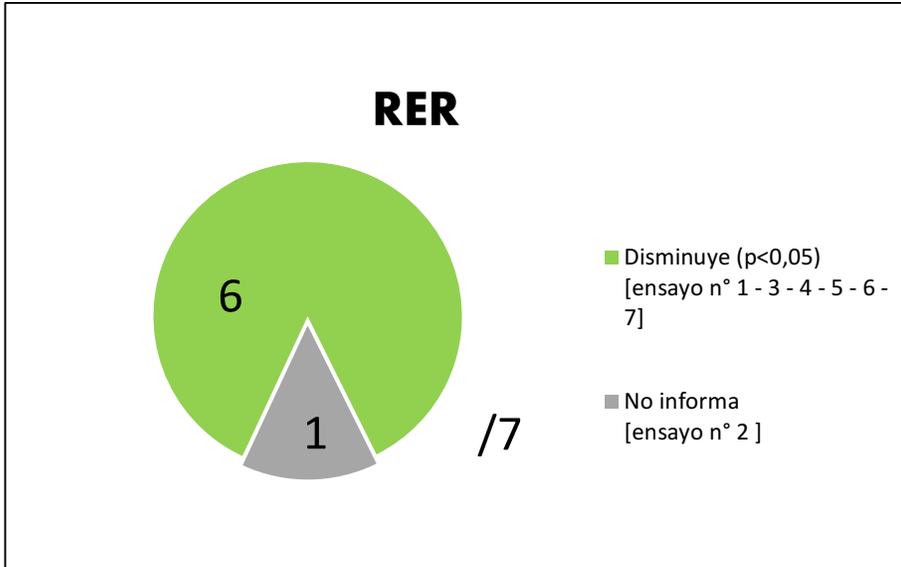


Gráfico 3 confeccionado por autoras: representación gráfica de los datos del RER de la tabla 6.

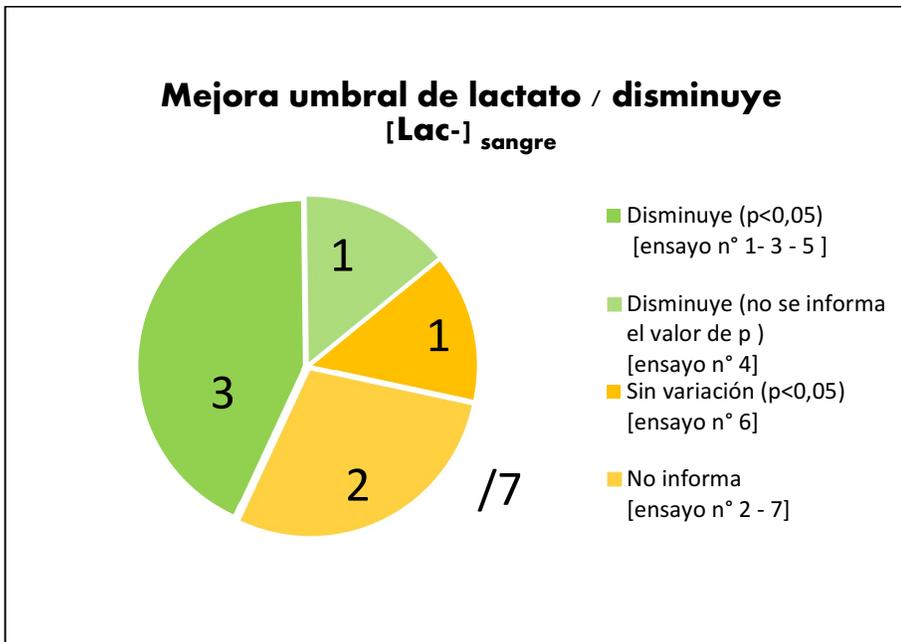


Gráfico 4 confeccionado por autoras: representación gráfica de los datos de umbral y concentración de lactato en sangre de la tabla 2.

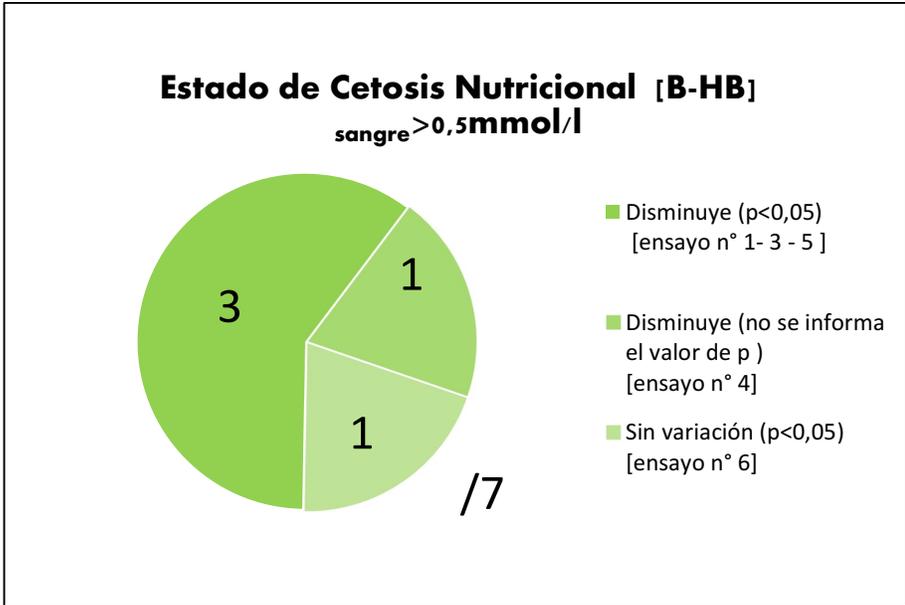


Gráfico 5 confeccionado por autoras: representación gráfica de los datos del estado de cetosis nutricional de la tabla 6.

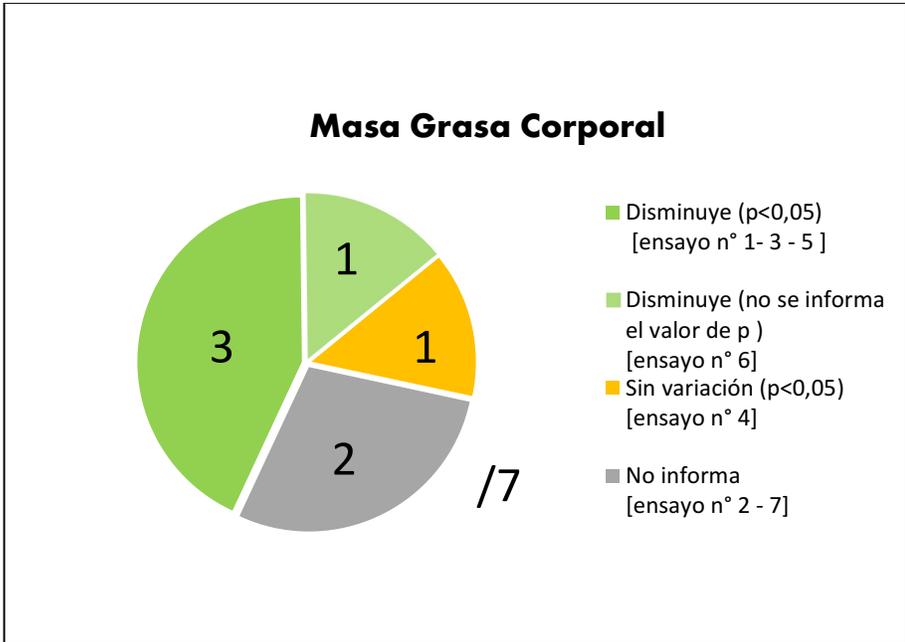


Gráfico 6 confeccionado por autoras: representación gráfica de los datos de la masa grasa corporal de la tabla 6.

VII. Discusión

Estado de cetosis nutricional.

Según los datos observados, todos los participantes de los diferentes ensayos se encontraban dentro de los parámetros de cetosis nutricional con un valor de P estadísticamente significativo, excepto en la muestra del ensayo n°4 donde se observó que cuatro de los participantes no alcanzaron siempre el valor mínimo, esto puede haberse dado por un mayor consumo diario de CHO. (38, 39)

Masa grasa corporal.

Según los datos observados tres de los siete ensayos mostraron en sus participantes una disminución del promedio de la masa grasa con un valor de P estadísticamente significativo. En los ensayos n°2 y 7 no se informó la variación del promedio de la masa grasa corporal. En el ensayo n°4 no presentó cambios, arrojando un valor de $P=0,176$, este valor puede ser consecuencia de una variación elevada de los cambios de los participantes; por el consumo *add libitum* de proteínas y ácidos grasos. En el ensayo n°6 se observó una disminución, pero no se informó el valor de P, al igual que en el ensayo n° 4 la dieta presenta consumo de grasas *add libitum*. (34, 35, 41)

La disminución de la masa grasa corporal puede relacionarse con los niveles bajos de insulina, la interrupción de la síntesis de TG, el bajo índice glucémico que reduce las fluctuaciones en las concentraciones plasmáticas de glucosa, el efecto saciante de la colecistoquinina y el B-HB, que son potentes supresores del apetito. (34, 35, 41)

RER

Según los datos observados seis de los siete ensayos presentaron una disminución del valor de RER con un valor de $P \leq 0,001$, excepto el ensayo n°3 que no informó el valor de P y el ensayo n°2 que no determinó el valor de RER. Este resultado es producido por un aumento de la eliminación de CO_2 y O_2 como resultado de una mayor degradación oxidativa de grasas utilizadas principalmente como sustrato energético dentro de las zonas 1 y 2 del VO_{2max} . (12, 16, 51)

Esta disminución de RER puede estar relacionada con el entrenamiento y la dieta cetogénica, ya que el ejercicio submáximo provoca adaptaciones en las células como un aumento de hasta el 120% de enzimas mitocondriales, incremento de la densidad capilar y la mayor ingesta de grasas diarias se ve directamente relacionado con el valor del cociente VCO_2/VO_2 menor a 1. (12, 50, 51)

Lactato: umbral y muestra única de sangre.

Según los datos observados los resultados son variados. En los ensayos n°1, 5 y 6 se determinó umbral de lactato y en los n°2, 3, 4 y 7 se determina lactato pre y post test.

Las dietas cetogénicas promueven el desarrollo de la capacidad oxidativa de grasas y a su vez los entrenamientos de resistencia permiten llegar a ritmos de esfuerzo más altos con baja elevación del lactato en sangre. Si se acompaña a la dieta con una determinada programación y tipo de entrenamiento se potencia el rendimiento a través de estas adaptaciones. Pero, si se implementan métodos continuos de baja intensidad la energía proviene casi en un 100% de los ácidos grasos provocando que se acumule acetil-CoA, inhibiendo la producción de piruvato e impidiendo el desarrollo de la capacidad de producción y remoción láctica. (16, 18, 26, 34, 35, 46)

En los ensayos n°3 y 6 no se observó modificaciones, pudo haber sido causa de la falta de implementación de métodos de entrenamientos específicos. El ensayo n° 3 presentó un predominio de trabajos continuos en zona 1 del VO_{2max} y una sesión semanal tipo HIIT, esta programación de entrenamiento es inadecuada para la elevación del umbral láctico ya que los entrenamientos continuos extensivos, desarrollan el metabolismo aeróbico, mejoran la oxidación de grasas y en menor medida la oxidación de glucógeno. (7, 10, 12) En el ensayo n°6, no se especificó que tipos de entrenamientos realizaron.

En los ensayos n°1 y 5 aumentó el umbral de lactato y en los n°2, 4 y 7 disminuyó el lactato en sangre. Se trabajó en intensidades de zona 2 y 3 del VO_{2max} , a través de métodos interválicos provocando una disminución de la oxidación de grasas y un aumento de la oxidación de glucógeno permitiendo al organismo adaptarse, aumentando la remoción de lactato. (12)

En relación con el valor de P, cinco de los siete ensayos arrojaron valores de lactato estadísticamente significativos, los dos ensayos restantes son estadísticamente no significativos. Esto puede deberse a resultados variados entre los participantes. En el n°6, dos de los participantes bajaron su nivel de umbral de lactato, uno lo aumentó en gran medida y los restantes lo mantuvieron. En el n°4 no se especificaron los resultados de lactato de forma individual, sino solo el promedio grupal, por lo que no podemos afirmar que todos los participantes disminuyeron su concentración de lactato en sangre (además en este ensayo no todos los participantes se encontraron en estado de cetosis nutricional durante la intervención).

VO_{2submaximo}.

Según los resultados de los ensayos solo en cinco del total se evaluó el VO_{2submaximo} presentado un aumento del valor de 2% aproximadamente en 4 de los mismos (ensayos n° 1, 4, 5, 7). El consumo de oxígeno que un sujeto puede llegar a alcanzar depende de los factores que intervienen en el sistema de absorción y transporte del oxígeno para generar energía, tras la implementación de entrenamientos de resistencia específicos como método continuo intensivo y método interválico extensivo, se puede mejorar la capacidad de consumir oxígeno a intensidades máximas y submáximas, a través del aumento de hasta el 120% de enzimas mitocondriales, del desarrollo de la capacidad cardiorrespiratoria y aumento del uso de hasta el 75-100% de la cantidad de TG almacenados. Esto último se acompaña con la implementación de una dieta cetogénica, que permite una provisión de energía mucho mayor a base de Acetil-Coa y KB. Para deportistas de resistencia ya entrenados, cuyo potencial de adaptación y desarrollo es mucho menor que para personas no entrenadas, una pequeña variación del valor de VO₂ ya sea máximo o submáximo es suficiente para hablar de mejora del rendimiento. (3, 7, 8, 12, 18) Otro de los factores que contribuye al aumento del VO₂ es la pérdida de masa grasa corporal, que se observa en la mayoría de los estudios analizados. El valor de VO₂ relativo es mayor para una persona con menor proporción de grasa corporal, por lo que a mayor porcentaje de masa muscular mayor capacidad de utilización de oxígeno. (8).

Otro de los factores que intervienen es la oxidación de las grasas ya que la zona de máxima oxidación de grasas se encuentra entre 55,3 y 72,4% VO_{2max}, que equivale a 68,3 y 79,3% de FC_{máx}, respectivamente. (12, 45, 46). Las dietas cetogénicas tienen efectos positivos en la reducción de los valores de RER durante el ejercicio de intensidad moderada o submáxima (12) y para duraciones prolongadas (~ 3 horas) y teniendo en cuenta que el rendimiento energético de un litro de O₂, utilizado para combustión varía dependiendo de la naturaleza del sustrato, siendo mayor para los AG en relación a los CHO, esto promueve el desarrollo del VO_{2submaximo}, teniendo en cuenta el aumento de la tasa oxidativa mitocondrial a partir de AG. (3,18, 36, 37, 50)

El valor arrojado de P por los ensayos n° 1, 5 y 7, son estadísticamente significativos mientras que, en el ensayo n°4 P>0,05. El ensayo n°6 no informó el valor.

VO_{2pico}

Según los datos observados, seis de los siete ensayos (n° 1, 2, 3, 4, 5 y 7) aumentaron el valor de VO_{2pico}, mientras que el n°6 lo disminuyó. Esto pudo haber sido causado por falta de implementación de entrenamientos específicos, como métodos interválicos o continuos intensivos. Otra causa pudo ser que la dieta cetogénica promueve la beta-oxidación y no tiene influencia sobre la glucólisis láctica, teniendo esta mayor relación con desarrollo del VO_{2pico}. (7, 45, 46,)

Los valores de P arrojados por los ensayos n° 1, 2, 4, 5, 7 son estadísticamente significativos, mientras que los restantes son estadísticamente no significativos. Esto pudo deberse a una variabilidad amplia en los resultados individuales dentro de cada grupo estudiado.

El ensayo n°3 presenta una gran variabilidad en los resultados individuales de los participantes, esto lleva a que los valores de P sean elevados. Por ejemplo, los años de experiencia de los participantes eran $15,1 \pm 7,1$ provocando una gran diferencia en la posibilidad de mejora de los parámetros de rendimiento (7, 8, 16, 58).

Con respecto al número muestral, se observa que las muestras comprenden de 5 a 10 participantes, siendo estos valores pequeños, por lo que la precisión con la cual se podría extrapolar los valores obtenidos a la población blanco es baja. Debería haberse trabajado con números de muestra más elevados para disminuir el error.

Por otra parte, dentro de cada uno de los ensayos hubo participantes pertenecientes a diferentes modalidades deportivas, si bien todos pertenecen a deportes de resistencia, se sabe que cada uno posee diferentes características en cuanto a las intensidades, duraciones y métodos de entrenamiento esto pudo haber sido causa de la gran variabilidad observada. Además, no se tuvo en cuenta en qué periodo del macrociclo se aplicó, ya que no todos buscan desarrollar los mismos objetivos. Tampoco se especificó en los ensayos cual era el resultado obtenido para cada deportista, ni se analizaron los resultados según el sexo, sino de manera general, y esto pudo haber sido causa de mayor variabilidad y dispersión. (3, 8, 11)

VIII. **Conclusión.**

En base a los datos analizados se podría concluir que las dietas cetogénicas generan un aumento de la oxidación de grasas y esto potenciaría el Fat_{Max} bajo un programa de entrenamiento de resistencia que trabaje entre un 55,3 y 72,4% VO_{2max} . Esta dieta se podría implementar durante el periodo de preparación general, donde se desarrollan las resistencias de bases tipo I y II, a través de los métodos continuos extensivos, continuo variado e interválico extensivo con intervalos largos.

Se observó una mejora en el umbral láctico, concentración de lactato y VO_{2pico} , pero estos resultados podrían no estar asociados únicamente a los efectos fisiológicos propios de la dieta, ya que la pérdida de la masa grasa corporal pudo haber sido la causa de esta variación debido a que es un factor que también interviene en los parámetros de rendimiento.

De todas maneras, quedaría por estudiar con mayor especificidad los efectos de esta dieta en cuanto a: diferentes deportes, tipo de entrenamiento, periodo de implementación dentro del macrociclo, duración de la aplicación y efectos post dieta.

VIII. Bibliografía.

- 1- Sihui M, Qiscyi H, Takaki T, Chunhong L, Katsuhiko S. An 8-Week Ketogenic Diet Alternated Interleukin-6, Ketolytic and Lipolytic Gene Expression, and Enhanced Exercise Capacity in Mice. *Nutrients* [Internet] 2018; [citado 10 Nov 2020]; 10 (11):1696. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30405021/>
- 2- Pinckaers PJM, Churchward-Venne TA, Bailey D, Van Loon LJC. Ketone Bodies and Exercise Performance: The Next Magic Bullet or Merely Hype?. *Sports Med.* [Internet]. 2016 [citado 10 Nov 2020]; 47(3):383-391. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27430501/>
- 3- Lopez Chicharro J, Fernández Vaquero A. *Fisiología del Ejercicio*. 3ra edición. Madrid: Panamericana; 2016.
- 4- Purdom T, Kravitz L, Dokladny K, Mermier C. Understanding the factors that effect maximal fat oxidation. *J Int Soc Sports Nutr* [Internet]. 2018 [citado 12 Nov 2020]; 15:3. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29344008/>.
- 5- Proeyen K, Szlufcik K, Nielens H, RamaekersM, Hespel P. Beneficial metabolic adaptations due to endurance exercise training in the fasted state. *J Appl Physiol* [Internet]. 2011 [citado 15 Nov 2020]; 110(1):236-245. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21051570/>.
- 6- Burke LM. Ketogenic Low CHO, High Fat diet: the future of elite endurance sport?. *J Physiol* [Internet]. 2016 [citado 15 Nov 2020]; 599 (3):819-843. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32358802/>
- 7- Sherrier M, Li H. The impact of keto-adaptation on exercise performance and the role of metabolic-regulating cytokines. *Am J Clin Nutr* [Internet]. 2019 [citado 17 Nov 2020]; 110(3):562-573. disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31347659/>
- 8- Fundación Española del Corazón [Internet]. Madrid: Escobar PA; 2018 [actualizado 1 Sep 2018; [citado 10 Feb 2021]. Disponible en: <https://fundaciondelcorazon.com/ejercicio/calculo-y-monitorizacion/3160-zonas-de-intensidad-del-entrenamiento-aerobico.html>
- 9- Povea CE, Cabrera A. Utilidad práctica de la monitorización de la frecuencia cardiaca durante el ejercicio físico. *Rev Col Cardiol* [Internet]. 2018 [citado 10 Feb 2021]; 25 (3):169-173. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-revista-colombiana-cardiologia-203-articulo-utilidad-practica-monitorizacion-frecuencia-cardiaca-S012056331830086X>
- 10- Zintl F. *Entrenamiento de la resistencia*. Barcelona: ediciones Martinez Roca, S.A.; 1991.

- 11- Brewer J. Deporte con ciencia. Running. 1ra ed. Londres: Quarto Iberoamericana; 2018.
- 12- Abarzúa JV, Viloff WC, Bahamondes JV, Olivera YP, Poblete-Aro C, Herrera-Valenzuela T, et al. Efectividad de ejercicio físico intervalado de alta intensidad en las mejoras del fitness cardiovascular, muscular y composición corporal en adolescentes: una revisión. Rev. méd [Internet]. 2019 [citado 10 Feb 2021]; 147(2):221-230. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-98872019000200221.
- 13- Lopez Chicharro D, Vicente Campos D. Umbral láctico. Madrid: Editorial Medica Panamericana, S.A.; 2017.
- 14- Impellizzeri FM, Marcora SM. The physiology of mountain biking. Sports Med [Internet]. 2007 [citado 12 Feb 2021]; 37(1):59-71. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17190536/>.
- 15- Wilmore JH, Costill DL. fisiología del esfuerzo y del deporte. 4^{ta} ed. Barcelona: Editorial Paidotribo; 2001.
- 16- Joyner MJ, Coyle EF. Endurance exercise performance: the physiology of champions. J Physiol [Internet]. 2008 [citado 12 Feb 2021]; 586(1):35-44. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2375555/>.
- 17- Padilla J, Martínez E, Olvera G, Ojeda Cruz P, Caudillo Perez D. Cardiopulmonary dynamics during a maximal exertion test in Mexican endurance athletes. Arch Inst Cardiol Mex [Internet]. 2000 [citado 12 Feb 2021]; 70(3):268-84. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10959457/>.
- 18- Bassett DR, Howley ET. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. Med Sci Sports Exerc [Internet]. 2000 [citado 12 Feb 2021]; 32(1): 70-84. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10647532/>.
- 19- Guyton AC, Hall JE. Tratado de fisiología médica. 11^{va} ed. España: Elsevier; 2006.
- 20- Vaquero-Cristóbal R, García-Roca JA, Albaladejo M, Fernández-Alarcon M, Esperanza-Ros F. Evolution in anthropometric variables related to training and nutritional parameters in ultra-endurance mountain runners. Nutr. Hosp [Internet]. 2019 [citado 12 Feb 2021]; 36(3):706-713. Disponible en: https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112019000300029.
- 21- Nalbandian M, Radak Z, Taniguchi J, Masaki T. How Different Respiratory Rate Patterns affect Cardiorespiratory Variables and Performance. Int J Exerc Sci.

- [Internet]. 2017 [citado 13 Feb 2021]; 10(3):322–329. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28515830/>.
- 22- Manonelles Marqueta P, D Teresa Galván C, Alacid Cárceles F, Álvarez Medina J, Del Valle Soto M, Gaztañaga Aurrekoetxea T, et al. Arch Med Deporte [internet]. 2016 [citado 12 Feb 2021]; 33(2):8-40. Disponible en: https://archivosdemedicinadeldeporte.com/documentos/Cons_Dep_recre_salud.pdf.
- 23- Nelson DL, Cox MM. Lheninger Principios de Bioquímica. 5ta ed. Barcelona: Ediciones Omega S.A.; 2009.
- 24- Sánchez Velázquez LD. Comparación de dos fórmulas para calcular el gasto cardiaco contra el método de termodilución. Rev Asoc Mex Med Crit y Ter Int [Internet]. 1998 [citado 12 Feb 2021]; 12(2):54-60. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/medcri/ti-1998/ti982c.pdf>.
- 25- Valdés Martín A, Rivas Estany E, Antuña Aguilar T, Echevarría Sifontes LA. Utilidad de la Ergoespirometría en el diagnóstico y evaluación de las enfermedades cardiovasculares. Rev Cubana Cardiol Cir Cardiovasc. [Internet]. 2016 [citado 14 Feb 2021]; 22(1):47-53. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/cubcar/ccc-2016/ccc161h.pdf>.
- 26- Leminszka MA, Dieck-Assad G, Martínez SO, Garza JE. Lactic acid level modeling for high performance athlete. Rev Mex Ing Biomed [Internet]. 2010 [citado 14 Feb 2021]; 31(1):41-56. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumenI.cgi?IDARTICULO=25523>
- 27- Garnacho-Castaño MV, Dominguez R, Maté-Muñoz JL. Understanding the Meaning of Lactate Threshold in Resistance Exercises. Int J Sports Med [Internet]. 2015 [citado 14 Feb 2021]; 36(5):371-377. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25680073/>.
- 28- Messonnier LA, Emhoff CW, Fattor JA, Horning MA, Carlson TJ, Brooks GA. Lactate kinetics at the lactate threshold in trained and untrained men. J Appl Physiol [Internet]. 2013 [citado 14 Feb 2021]; 114(11):1593-1602. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23558389/>.
- 29- Domínguez R, Maté-Muñoz JL, Serra-Paya N, Garnacho-Castaño MV. Lactate Threshold as a Measure of Aerobic Metabolism in Resistance Exercise. Int J SportsMed [Internet]. 2018 [citado 15 Feb 2021]; 39(3):163-172. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29284165/>.
- 30- Svedahl K, MacIntosh BR. Anaerobic threshold: the concept and methods of measurement. Can J Appl Physiol. [Internet]. 2003 [citado 15 Feb 2021]; 28(2):299-323. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12825337/>.

- 31- Davis JA, Rozenek R, DeCicco DM, T Carizzi MT, Pham PH. Comparison of three methods for detection of the lactate threshold. *Clin Physiol Funct Imaging* [Internet]. 2007 [citado 20 Feb 2021]; 27(6):381-384. Disponible en: <https://europepmc.org/article/med/17944661>.
- 32- Leminszka MA, Dieck-Assad G, Martinez SO, Garza JE. Modelación del nivel de ácido láctico para atletas de alto rendimiento. *Rev. mex. ing. bioméd* [Internet]. 2010 [citado 20 Feb 2021]; 31(1):41-56. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-95322010000100004&script=sci_abstract.
- 33- Zhou S, Weston SB. Reliability of using the D-max method to define physiological responses to incremental exercise testing. *Physiol Meas* [Internet]. 2017 [citado 25 Feb 2021]; 18(2):145-154. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9183808/>.
- 34- Ament W, Verkerke GJ. Exercise and Fatigue. *Sports Med* [Internet]. 2009 [citado 25 Feb 2021]; 39(5):389-422. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19402743/>.
- 35- Volek J, Phinney S. *The art and science of Low Carbohydrate Performance*. 2012.
- 36- Martin WH, Klein S. Use of endogenous carbohydrate and fat as fuels during exercise. *Proc Nutr Soc* [Internet]. 1998 [citado 25 Feb 2021]; 57(1):49-54. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9571708/>.
- 37- Noland R. Exercise and Regulation of Lipid Metabolism. *Prog Mol Biol Transl Sci* [Internet]. 2015 [citado en 25 Feb 2021]; 135:39-74. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26477910/>.
- 38- Guezennec CY. Role of Lipids on Endurance Capacity in Man. *Int J Sports Med* [Internet]. 1992 [citado 15 Mar 2021]; 13(1): 114-118. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1483746/>.
- 39- Moro C, Harant I, Badin PM, Patarca FX, Guillard JC, Bourlier V, et al. Influence of lipolysis and fatty acid availability on fuel selection during exercise. *J Physiol Biochem* [Internet]. 2014 [citado 25 Feb 2021]; 70(2):583-591. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24338384/>.
- 40- Achten J, Gleeson M, Jeukendrup AE. Determination of the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation. *Med Sci Sports Exerc* [Internet]. 2002 [citado 25 Feb 2021]; 34(1):92-97. Disponible en <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11782653/>.

- 41- Purdom T, Kravitz L, Dokladmi K, Mermier T. Understanding the factors that effect maximal fat oxidation. J Int Soc Sports Nutr. [internet]. 2018 [citado 25 Feb 2021]; 15(3). Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29344008/>.
- 42- Achten J, Jeukendrup AE. Maximal fat oxidation during exercise in trained men. Int J Sports Med [Internet]. 2003 [citado 25 Feb 2021]; 24(8):603-608. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14598198/>.
- 43- Stewart A, Marfell-Jones M, Olds T, Ridder H. Protocolo internacional para la valoración antropométrica. 1er edicion. Reinos Unidos: ISAK ;2001.
- 44- Vargas M, Lancheros L, Barrera MP. Gasto energético en reposo y composición corporal en adultos. Rev Fac Med [internet]. 2011 [citado 27 Feb 2021]; 59(1): 43-58. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rfmun/v59s1/v59s1a06.pdf>.
- 45- Jeukendrup AE, Wallis GA. Measurement of Substrate Oxidation During Exercise by Means of Gas Exchange Measurements. Int J Sports Med [Internet]. 2005 [citado 27 Feb 2021]; 26(1):28-37. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15702454/>.
- 46- Péronnet F, Massicotte D. Table of nonprotein respiratory quotient: an update. Can J Sport Sci [Internet]. 1991 [citado 27 Feb 2021]; 16(1):23-29. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1645211/>.
- 47- Miller VJ, Villamena FA, Volek J. Nutritional Ketosis and Mitohormesis: Potential Implications for Mitochondrial Function and Human Health. J Nutr Metab. [Internet]. 2018 [citado 27 Feb 2021]; 2018. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5828461/>.
- 48- Shaw DM, Merien F, Braakhuis A, Maunder ED, Dulson DK. Effect of a Ketogenic Diet on Submaximal Exercise Capacity and Efficiency in Runners. Med Sci Sports Exerc. [internet] 2019 [citado 27 Feb 2021]; 51(10):2135-2146. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31033901/>.
- 49- Misra S, Oliver NS. Utility of ketone measurement in the prevention, diagnosis and management of diabetic ketoacidosis. Diabet Med. [Internet]. 2015 [citado 27 Feb 2021]; 32(1):14-23. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25307274/>.
- 50- Pérez-Guisado J. Las dietas cetogénicas: fundamentos y eficacia para la pérdida de peso. ALAN [Internet]. 2008 [citado 27 Feb 2021]; 58(2):126-131. Disponible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222008000200002.

- 51- Shepherd JA, Bennett KN, Sommer MJ, Heymsfield SB. Body Composition by DXA. Bone [Internet]. 2017 [citado 20 Feb 2021]; 104:101-105. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28625918/>.
- 52- Martinez EG. Composición corporal: Su importancia en la práctica clínica y algunas técnicas relativamente sencillas para su evaluación. Salud Uninorte [Internet]. 2009 [citado 12 Feb 2021]; 25(2): 98-116. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/sun/v26n1/v26n1a11.pdf>.
- 53- Kuriyan R. Body composition techniques. Indian Journal Of Medical Research. Indian J Med Res [Internet]. 2018 [citado 13 Feb 2021]; 148(5):648-658. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30666990/>.
- 54- Oleas Galeas M, Barahona A, Salazar lugo R. Índice de masa corporal y porcentaje de grasa en adultos indígenas ecuatorianos Awá. ALAN [Internet]. 2017 [citado 21 Feb 2021]; 67(1): 42-48. Disponible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222017000100006.
- 55- Shaw DM, Merien F, Braakhuis A, Maunder ED, Dulson DK. Effect of a Ketogenic Diet on Submaximal Exercise Capacity and Efficiency in Runners. Med Sci Sports Exerc [Internet]. 2019 [citado 28 Ene 2021]; 51(10):2135-2146. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31033901/>.
- 56- Carr AJ, Sharma AP, Ross ML, Welvaert M, Slater GJ, Burke LM. Chronic Ketogenic Low Carbohydrate High Fat Diet Has Minimal Effects on Acid–Base Status in Elite Athletes. Nutrients [Internet]. 2018 [citado 27 Ene 2021]; 10(2): 236. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29463034/>.
- 57- McSwiney FT, Wardrop B, Hyde PN, Lafountain RA, Volek JS, Doyle L. Keto-adaptation enhances exercise performance and body composition responses to training in endurance athletes. Metabolism [Internet]. 2018 [citado 15 Ene 2021]; 81:25-34. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29108901/>.
- 58- Prins PJ, Noakes TD, Welton GL, Haley SJ, Esbenshade NJ, Atwell AD, et al. High Rates of Fat Oxidation Induced by a Low-Carbohydrate, High-Fat Diet, Do Not Impair 5-km Running Performance in Competitive Recreational Athletes. J Sports Sci Med [Internet]. 2019 [citado 16 Ene 2021]; 18(4):738-750. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31827359/>.
- 59- Zajac A, Poprzecki S, Maszczyk A, Tzuba M, Mithalczyk M, Zydek G. The effects of a ketogenic diet on exercise metabolism and physical performance in off road cyclists. Nutrients [Internet]. 2014 [citado 28 Ene 2021]; 6(7):2493-2508. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24979615/>.

- 60- Zinn C, Wood M , Williden M, chatteredton S, Maunder E. Ketogenic diet benefits body composition and well-being but not performance in a pilot case study of new zealand endurance athletes. J Int Soc Sports Nutr [Internet]. 2017 [citado 27 Ene 2021]; 14: 22. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5506682/>.
- 61- Burke LM, Sharma AP, Heikura IA, Forbes SF, Holloway M, McKay AKA, et al. Crisis of confidence impairment of exercise economy and performance in elite race walkers by ketogenic low carbohydrate, high fat (lchf) diet is reproducible. PLoS One [Internet]. 2020 [citado 26 Ene 2021];15(6). Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32497061/>.