

164
201



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

SEGUIMIENTO BIOQUÍMICO DURANTE EL PROGRAMA DE ENTRENAMIENTO DE UNA NADADORA DE LARGAS DISTANCIAS

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE BIÓLOGA

PRESENTA:

NORA HAIDE TOLEDANO CADENA



TESIS CON FALLA DE ORIGEN



DIRECTOR DE TESIS: DR. ALEXANDER KORMANOVSKY

FACULTAD DE CIENCIAS
SECCION ESCOLAR

1998

260356



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

M. en C. Virginia Abrín Batule
Jefe de la División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Ciencias
P r e s e n t e

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo de Tesis:

SEGUIMIENTO BIOQUIMICO DURANTE EL PROGRAMA DE ENTRENAMIENTO
DE UNA NADADORA DE LARGAS DISTANCIAS
realizado por NORA HAIDE TOLEDANO CADENA

con número de cuenta 8524472-0 , pasante de la carrera de BIOLOGIA

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis
Propietario

DR. ALEXANDER KORMANOVSKY

Propietario

M. en C. VICTOR MANUEL VALDES LOPEZ

Propietario

BIOL. JULIO ALEJANDRO PRIETO SAGREDO

Suplente

DRA. LUISA ALBA LOIS

Suplente

M. en C. CARLOS F. CANDELARIA SILVA

Consejo Departamental de Matemáticas

M. en C. ALEJANDRO MARTINEZ MENA

AGRADECIMIENTOS

A Dora Cadena, mamá gracias por tu cariño, comprensión y apoyo incondicional.

A Roberto Willebaldo, por haberme impulsado a dar este importante paso en mi vida y por tu amor.

A Alexander Kormanovsky por transmitirme pacientemente tus conocimientos y experiencia y por tu amistad.

A Adriana Vila por enseñarme a 'lanzar estrellas al mar'.

A Mauricio, por tu cariño de hermano y ser mi amigo.

A Arturo Heredia, Elsa Chincoya, Armando Sánchez y a todas las personas que también han intervenido valiosamente para ayudarme a alcanzar mis metas.

A mis amigos, por escucharme y entender mis ausencias físicas.

A Kena, porque tu sonrisa permanece aquí.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	2
2.1 Desarrollo histórico de la bioquímica deportiva	2
2.2 Teoría del entrenamiento	3
2.3 Elementos de bioquímica del entrenamiento	8
3. HIPÓTESIS	19
4. OBJETIVOS	19
5. MÉTODO	20
5.1 Estrategia experimental	20
5.1.1 Seguimientos bioquímicos	20
5.1.2 Toma de muestras de sangre	20
5.1.3 Determinación de los parámetros bioquímicos estudiados	22
5.1.4 Programa de entrenamiento	24
5.2 Análisis estadístico	25
6. RESULTADOS	26
7. DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN	29
8. CONSIDERACIONES FINALES Y PERSPECTIVAS	57
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
10. ANEXOS	60

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los principales objetivos de los investigadores y médicos deportivos, así como de los entrenadores y atletas, es la planificación y ejecución correcta de los programas de entrenamiento, con el propósito de obtener rendimientos óptimos y evitar sobrecargas excesivas en los deportistas.

Entre los problemas que frecuentemente se encuentran, está el desconocimiento de la relación existente entre la carga externa del entrenamiento (estimulo) y la interna (respuesta fisiológica) de un individuo sometido a un programa específico.

A través de los análisis bioquímicos realizados durante el desarrollo de dichos programas, es posible alcanzar una mejor comprensión de esta respuesta fisiológica, así como conocer científicamente el proceso de asimilación de las cargas de entrenamiento. También, por medio de estos estudios, se puede conocer el funcionamiento de las diferentes rutas metabólicas que intervienen durante la realización de un ejercicio físico para garantizar el aporte energético.

La presente investigación consiste en la realización de un seguimiento bioquímico durante el programa de entrenamiento llevado a cabo por una nadadora de largas distancias, que se preparó con el objetivo específico de nadar 24 horas continuas. Mediante este análisis, se cuantifican e interpretan las variaciones de diferentes componentes bioquímicos sanguíneos involucrados directa o indirectamente en los metabolismos energéticos.

También, se aplica un análisis estadístico para buscar relaciones entre las variables bioquímicas estudiadas y las variables de entrenamiento y determinar asociaciones importantes entre ellas

A su vez, este trabajo pretende dar una aportación al acervo de investigaciones realizadas sobre bioquímica deportiva en nuestro país; además de mostrar la relevancia de la aplicación de las Ciencias en el deporte, en este caso la bioquímica; y resaltar la importancia de enfocarla a las características del deportista mexicano, ya que las condiciones del medio, altitud, alimentación y otros factores que influyen en el rendimiento atlético pueden ser diferentes a las condiciones de deportistas de otros países.

2. ANTECEDENTES

2.1 Desarrollo histórico de la bioquímica deportiva

La bioquímica es considerada una ciencia joven, sin embargo sus conceptos y técnicas se han desarrollado con gran rapidez en los últimos años, lo que ha permitido abrir nuevos campos de investigación (Stryer, 1995) entre ellos, estudiar las particularidades funcionales que rigen los procesos metabólicos durante la realización de un trabajo físico. Una rama de esta ciencia es la bioquímica funcional, que estudia las relaciones entre el metabolismo y las funciones orgánicas. Como una especialidad de la bioquímica funcional, surgió la *bioquímica de los ejercicios físicos o del deporte* (Ponce, 1981).

Anteriormente, se realizaban aisladamente estudios de algunas particularidades bioquímicas relacionadas con el ejercicio, pero sin una verdadera sistematización. Fue hasta la década de los veinte, cuando en la exURSS se inició formalmente esta nueva rama de la bioquímica funcional (Ponce, 1981).

El año 1927 se considera como el inicio del desarrollo sistemático de la bioquímica del deporte. En esta oportunidad, fueron publicadas las primeras investigaciones de A. V. Palladin y G. Embeden en las cuales se exponía las características bioquímicas de los músculos en el organismo entrenado. El primer libro en la literatura mundial de esta especialidad fue el título "Ensayos sobre bioquímica del deporte", de N.N. Yakovlev, editado en la exURSS (Ponce, 1981).

En 1968, se llevó a cabo en Bruselas el Primer Simposio sobre Bioquímica del Ejercicio y a partir de entonces, ha habido un gran avance de esta especialidad, principalmente en los países de mayor desarrollo.

En los últimos 25 años se han llevado a cabo numerosos estudios, como se observa en una base de datos (Sport Discus Mundial, 1964-94) que contiene 928 trabajos publicados sobre diferentes temas de bioquímica deportiva. Las investigaciones realizadas con mayor frecuencia han sido referentes a los efectos del entrenamiento en el organismo, causas bioquímicas de la fatiga muscular, costo energético del movimiento, contracción muscular durante la actividad física, doping, nutrición, inmunología, endocrinología, fenotipos de las fibras musculares; cambios bioquímicos e iónicos asociados al trabajo físico; efectos de la altitud; deshidratación y termorregulación; diferencias de las adaptaciones metabólicas en hombres y mujeres, así como en deportistas velocistas y fondistas; producción de lactato y determinación del máximo consumo de oxígeno, desórdenes metabólicos y el ejercicio, entre otros.

Los países que han mostrado mayor interés en realizar estudios relacionados con temas de bioquímica y medicina del deporte son: Alemania, Rusia, E.U.A, China, Australia, Nueva Zelanda, Francia, Bélgica, Italia, Inglaterra, Polonia, Canadá, Hungría, Brasil, Holanda, Suiza y la antigua Checoslovaquia.

En México se consolidó la investigación bioquímica a mediados de los cincuenta. A partir de entonces, se han constituido varios grupos de trabajo, siendo los de mayor relevancia los ligados a la enzimología, genética, bioquímica farmacológica e inmunoquímica (Mora, et al. 1974), pero el progreso de la bioquímica deportiva ha sido mínimo, sin embargo, ya se han realizado algunas investigaciones en Medicina y Ciencias Aplicadas al Deporte de la CONADE, en Medicina del Deporte de la UNAM y en el IPN.

2.2 Teoría del entrenamiento

2.2.1 Bases fisiológicas del entrenamiento

El entrenamiento deportivo involucra la integración de varias tareas fundamentales. Entre ellas, la preparación física (desarrollo de las capacidades de fuerza, resistencia, rapidez y movilidad), la técnico-táctica, la intelectual y la psicológica del deportista, contemplándolo a éste como un ser bio-psico-social (Harre 1987).

En el aspecto físico, el entrenamiento se define como el estímulo repetido de ejercicios corporales que provocan una adaptación morfofuncional del organismo y el consecuente aumento en la capacidad de rendimiento del atleta (Harre 1987).

El entrenamiento se caracteriza por la realización de grandes volúmenes e intensidades a trabajar por el atleta, lo que hace indispensable poder cuantificar la concordancia existente entre la carga externa (*estímulo*) y la interna (*respuesta fisiológica*) y con ello optimizar la efectividad del entrenamiento (Thiess, 1986).

La carga externa se determina por el volumen, la intensidad, la densidad y la frecuencia con que el atleta realiza un esfuerzo físico. Y la carga interna es la reacción biológica de los sistemas orgánicos frente a la carga externa. Esta última nos puede indicar el grado de esfuerzo que el deportista utiliza para realizar un ejercicio (Harre, 1987).

Para alcanzar una adaptación óptima se debe repetir la carga externa, ya que el organismo pasa por una serie de modificaciones de sistemas funcionales antes de llegar a una adaptación estable. La adaptación definitiva produce cambios en otros sistemas funcionales como los enzimáticos, hormonales, metabolismos energéticos y sistema nervioso central, lo que establece un nivel funcional más elevado y por lo tanto, un mayor rendimiento, ver Figura 1 (Zintl, 1991).

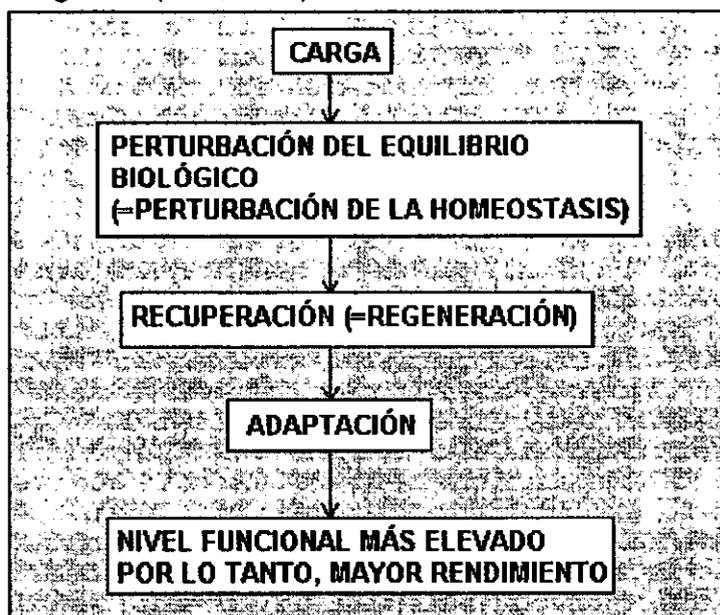


Figura 1 Un organismo humano reacciona según la *cadena de causa-efecto*. Al referirnos al entrenamiento, el fenómeno se conforma con la *carga-adaptación* (Zintl, 1991).

Conocer las relaciones que hay entre los estímulos y la respuesta de adaptación del atleta es uno de los propósitos de la ciencia deportiva y debe tomarse en cuenta cuando se dirige un programa de entrenamiento (Harre, 1987).

La adaptación al entrenamiento se da como resultado de un balance entre la carga y la recuperación. Estudios bioquímicos han comprobado que las reservas energéticas se renuevan en la fase de recuperación y, si esta fase se dosifica adecuadamente se produce una supercompensación, conducente a un nivel superior al previo (Harre, 1987)

Cuando un estímulo se mantiene invariable, con el tiempo se puede superar más fácilmente y producir menor cansancio. El efecto de entrenamiento que se adquiere mediante cargas constantes se reduce cada vez más, y éstas contribuyen sólo a mantener un estado estacionario. Por esta razón es necesario elevar sistemáticamente la carga externa y evitar períodos de descanso muy prolongados en las etapas de transición.

La adaptación del organismo se produce siempre en la dirección que exige la estructura de la carga. Las cargas de gran volumen y de ligera a mediana intensidad, desarrollan principalmente capacidades de resistencia y aquellas de poco volumen pero con una intensidad submáxima o máxima, promueven capacidades de fuerza y rapidez.

Dentro de un programa deportivo se puede dirigir al atleta a desarrollar ciertas capacidades que tenga poco trabajadas o hacia las cuales esté enfocado su objetivo de competencia.

2.2.2 El concepto de resistencia

La resistencia se entiende como la capacidad del organismo de soportar el cansancio y mantener una carga con intensidad alta por un tiempo prolongado (Harre, 1987).

Existen varios criterios para clasificar la resistencia, ya sea por el volumen de la musculatura implicada en el ejercicio; por el tipo de vía energética mayoritariamente utilizada (aeróbica o anaeróbica); por la duración de la carga, etc. En la Tabla 1 se muestra una clasificación de la resistencia que define Newman en función del tiempo de esfuerzo, intensidad de carga y vías energéticas implicadas.

	RDC	RDM	RDL I	RDL II	RDL III	RDL IV
Duración de la carga	35 segundos 2 minutos	2-10 minutos	10-35 minutos	35-90 minutos	90 minutos- 6 horas	6 hrs. en adelante
Intensidad	Máxima	Máxima	Submáxima	Submáxima	Mediana	Ligera
Frecuencia Cardiac/min	Mayor 180	Mayor 180	170-180	170	150-165	120-140
% VO ₂ máx.	100	100-95	95-90	90-80	80-60	60-50
Lactato (mmol/l)	10-18	10-18	6-10	6-10	4-5	Menor a 3
Consumo energético	60 (250) kcal/min	45 (190)	28 (120)	25 (105)	20 (80)	18 (75)
Vía energética	Predominio Anaeróbica	Aeróbico/ Anaeróbica	Predominio aeróbica	Aeróbica	Aeróbica	Totalmente Aeróbica
Anaeróbica : Aeróbica	80:20	60:40	20:80	10:90	5:95	1:99
Principal Substrato energético	Glucógeno, Fosfatos	Glucógeno (muscular)	Glucógeno (muscular + hepático)	Glucógeno (muscular + hepático) grasas	grasas + glucógeno	Grasas glucógeno proteínas

Tabla 1 Delimitación de los tipos de resistencia en función del tiempo del esfuerzo, intensidad de la carga y vías energéticas implicadas en el ejercicio. Las indicaciones numéricas son promedios de varios deportes. **RDC**- Resistencia de corta duración; **RDM**- Resistencia de mediana duración; **RDL I**- Resistencia de larga duración Tipo I; **RDL II**- Resistencia de larga duración Tipo II; **RDL III**- Resistencia de larga duración Tipo III; **RDL IV**- Ultra-resistencia de larga duración tipo IV. La intensidad queda descrita por la velocidad de desplazamiento, por la frecuencia cardíaca o por el valor de lactato en sangre. Y el VO₂ max, como el máximo consumo de oxígeno. Citado en el Zintl, 1991.

2.2.3 Rangos de entrenamiento

Dentro de la planificación para un programa deportivo, es usual distinguir diferentes rangos de entrenamiento para poder comparar el esfuerzo de los deportistas. Aunque existen diferentes estilos de programar, estos rangos deber de ser establecidos siempre con criterios unificados y delimitarlos entre sí. Los métodos de entrenamiento trabajan estos rangos combinándolos y los varían en concordancia con la etapa del programa que se encuentre desarrollando un atleta.

A continuación se da una breve descripción de los diferentes rangos de entrenamiento establecidos por varios autores y que es aplicado actualmente para planear programas de entrenamiento en natación.

- Resistencia Básica Aeróbica Ligera (AEL)

También se le conoce como rango de economía, es un entrenamiento de larga duración (más de 30 minutos), de intensidad moderada a una velocidad uniforme. El pulso cardíaco se eleva hasta 130-140 pulsaciones/minuto. La concentración de ácido láctico es de 1.5 a 2.5 mmol/l (Thiess, 1985).

- Resistencia Básica Aeróbica Media (AEM)

Denominado umbral aeróbico, es un entrenamiento de intensidad media, aproximadamente un 90-95% de la velocidad de nado para la distancia de entre 300 y 3000 metros. Pulso 150-165/minuto. Lactato producido de 2.6-5.5 mmol/l (Thiess, 1986).

- Resistencia Aeróbica Intensa (AEI)

Conocido como entrenamiento de máximo consumo de oxígeno (VO_{2max}). Se nadan series de bajo volumen, entre 1500 a 2000 metros, a una intensidad submáxima >95% para la velocidad en la distancia. Pulso 170/min. Lactato producido de 6-10 mmol/l (Navarro y col. 1992).

- Resistencia a la velocidad (Anaeróbico Láctico)

Son esfuerzos de duración menor a 2 minutos y a velocidades submáximas y máximas (>97% de la velocidad de nado sobre la distancia). Pulso >180/min. Lactato >9 mmol/l (Thiess, 1986).

- Rapidez Aláctica (Anaeróbico Aláctico)

Son esfuerzos de una duración máxima de 15 segundos al 100% de velocidad o mayor y con mucho descanso entre cada repetición (Schramm, 1987).

- Resistencia Específica de Competencia

Rango que simula lo más posible la velocidad, intensidad y condiciones de la prueba de competencia, buscando la realización integral del entrenamiento, reuniendo circunstancias físicas, psíquicas, etc. (Navarro y col. 1992).

- Compensación

Es un entrenamiento aeróbico por debajo del rango mínimo de desarrollo aeróbico ligero (menos del 70% de esfuerzo). Como su nombre lo dice, su objetivo es ayudar a la recuperación o compensación del organismo después de esfuerzos muy intensos o prolongados (Schramm, 1987).

- Resistencia de la Fuerza

Es la capacidad del aparato neuromuscular de actuar en contra de una resistencia externa por un periodo relativamente corto y de alta intensidad (esfuerzo anaeróbico).

- Movilidad y Coordinación

La movilidad consta de dos componentes: la flexibilidad de las articulaciones y la elasticidad de los músculos, con estos aspectos se busca mejorar la amplitud de movimiento del aparato locomotor. La coordinación es la combinación de ejercicios dirigidos al desarrollo de las diferentes capacidades coordinativas como la reacción, diferenciación, el acoplamiento, etc. Se realizan principalmente en forma de juegos (Thiess, 1985).

2.2.4 Programación del entrenamiento

La programación es la forma de estructurar el entrenamiento deportivo en un tiempo determinado, a través de periodos, donde se comprende un incremento óptimo del rendimiento y la preparación del deportista para un momento culminante decisivo (Forteza, 1988).

El entrenamiento se estructura en periodos debido a que un deportista no puede situarse durante todo un año en su nivel máximo de rendimiento, dado que se movería en el límite de su capacidad individual de carga, y se presentaría el peligro de una sobreexigencia, por lo que se requieren cambios de cargas durante los periodos de entrenamiento a corto, mediano y largo plazo (Zintl, 1991).

Generalmente, los programas de entrenamiento se dividen en periodo preparatorio (adquisición de la forma deportiva), competitivo (mantenimiento o competencia) y de transición (pérdida temporal de la forma deportiva). Los periodos largos se dividen a su vez en etapas. Estas últimas se organizan en microciclos, que abarcan desde varios días hasta una semana y los macrociclos que se extienden por varias semanas. Cada periodo y etapa tienen un objetivo específico dentro del desarrollo sistemático del rendimiento (Harre, 1987; Forteza, 1988).

2.2.5 Sobreexigencia o sobrecarga excesiva

Cuando la carga del entrenamiento y las exigencias totales de la vida diaria corresponden a la capacidad de carga del deportista (lo que éste puede soportar sin salirse de su propia homeostasis), el estado del entrenamiento se desarrolla normalmente y el atleta alcanza siempre mejores resultados. Pero cuando la carga total provocada por el entrenamiento, la profesión, el estudio, etc., sobrepasa la capacidad de rendimiento del individuo por una dosificación excesiva, provocan un aumento progresivo del cansancio, de cambios importantes en el sistema nervioso central, así como la disminución progresiva del rendimiento (Harre, 1987).

Antes de que la capacidad de rendimiento comience a disminuir progresivamente como resultado de la sobreexigencia, se empiezan a presentar diferentes síntomas como la pérdida regular del sueño y apetito, sudor nocturno, notable disminución de la concentración, nerviosismo, palidez o enrojecimiento y una irregularidad en la coordinación muscular. Éstos síntomas caracterizan un estado avanzado de sobreexigencia y se debe tomar las medidas necesarias para evitar trastornos serios en el atleta, como pueden ser desórdenes en el ritmo cardiaco, agotamiento de los potenciales bioquímicos de trabajo, etc. (Harre, 1987).

Tan pronto como se manifiesten síntomas atribuibles a una sobreexigencia, se reducen las cargas de entrenamiento y se utilizan medios que favorezcan la recuperación, como masajes, baños de vapor, dieta rica en vitaminas, aminoácidos y hepatoprotectores. También con la recuperación activa a través de ejercicios aeróbicos muy ligeros, que ayudan al organismo a su recuperación.

2.3 Elementos de bioquímica del entrenamiento

Durante la realización de una actividad física se ha observado que se producen alteraciones morfofuncionales en el organismo a un nivel anatómico, fisiológico, hormonal y bioquímico (Ponce, 1981).

Los cambios bioquímicos que ocurren en el tejido muscular debido a una actividad física producen transformaciones semejantes en otros órganos y tejidos. En el medio interno líquido del organismo, como la sangre y orina, se reflejan estas variaciones que pueden presentarse temporal o permanentemente (Ponce, 1981).

En la bioquímica deportiva existen varias posibilidades para determinar la acción de las cargas de trabajo en el organismo y así poder conocer la relación existente entre la carga externa y la interna.

A través del seguimiento de análisis químicos de sangre y orina, se pueden cuantificar e interpretar las variaciones en la concentración de determinados componentes sanguíneos de acuerdo a la calidad y cantidad de un trabajo.

Para el seguimiento y control de estos cambios durante diferentes etapas de preparación de un atleta se realizan observaciones y se integran conocimientos y experiencia para interpretar los resultados, y así poder evaluar y ajustar un programa de entrenamiento con la finalidad de alcanzar rendimientos máximos.

Dentro del análisis, por lo regular se efectúan estudios sobre niveles en sangre de urea, glucosa, colesterol, triglicéridos, ácido láctico, enzimas, algunos electrolitos y hormonas, así como una biometría hemática completa.

Algunos de estos componentes sanguíneos son metabolitos intermediarios o productos finales de los metabolismos de carbohidratos, lípidos o proteínas y son estudiados por ser los mejores indicadores del funcionamiento de las diferentes vías metabólicas que intervienen de manera alternada para garantizar el aporte de energía durante la realización del ejercicio físico (Ponce, 1981; Lehninger, 1985).

La variación en la concentración de cualquier componente en la sangre, durante la actividad física prolongada, depende principalmente de dos procesos: la utilización del componente en los tejidos, donde es consumido para la realización de los procesos energéticos ó por movilización de los depósitos de reserva. Con la observación de estas variaciones se puede llegar a interpretar cual es el proceso que predomina en determinado momento de una actividad, ya sea utilización o movilización (Menshikov y Volkov, 1990). Existen otras variables que influyen en estos cambios y que dificultan su interpretación, como son la velocidad de entrada y eliminación de un componente sanguíneo determinado.

A continuación se describen las características, función e interpretación de los componentes sanguíneos relacionados con el ejercicio y que fueron estudiados en el presente trabajo.

2.3.1 Hemoglobina (Hb)

Es una proteína conjugada presente en los eritrocitos. Ocupa el 28% de la masa celular, el resto son principalmente agua (71%) y algunos lípidos (7% colesterol y lecitina). Cada molécula de hemoglobina contiene cuatro cadenas polipeptídicas (2α y 2β) y cuatro grupos hemo. El grupo hemo es una ferroprotoporfirina que consta de cuatro anillos protoporfínicos, cada anillo contiene un átomo de hierro (Fe) en el centro. El hierro está presente en forma bivalente, forma ferrosa, y a causa de su asociación peculiar con la globina, puede captar o ceder oxígeno (Bauer, 1986).

Las funciones principales de la hemoglobina son la combinación reversible con el oxígeno y su transporte desde los alvéolos pulmonares hasta los tejidos. La capacidad máxima de la sangre para combinarse con el oxígeno es paralela a su contenido de hemoglobina, así como al pH y la concentración de CO_2 (Lehninger, 1985).

Interpretación: El entrenamiento provoca un aumento de los eritrocitos en sangre y de la cantidad de hemoglobina, lo que favorece el aumento de la capacidad de oxigenación. En los deportistas varones, este número puede llegar hasta 6-7 millones por ml y en mujeres de 5-5.5 millones por ml. También se encuentra un aumento en el contenido de hemoglobina en la sangre, la que puede llegar hasta 15-16 g/dl (Ponce, 1981) y en atletas que viven y entrenan en altitudes como la de la Ciudad de México se ha llegado a obtener registros hasta de 20-22 g/dl (*com. per.* Laboratorio de Bioquímica del Centro Nacional de Medicina y Ciencias Aplicadas al Deporte, CONADE).

Los niveles de hemoglobina en sangre tienden a disminuir ligeramente cuando el atleta se somete programas de entrenamiento con trabajos muy fuertes por períodos prolongados. En mujeres puede presentarse un descenso ligero, relacionado con los períodos de menstruación, cuando el flujo menstrual es excesivo. También, se observan cambios drásticos en los niveles de hemoglobina, con un notable descenso en su concentración, en el caso de que el deportista haya recibido una sobrecarga excesiva de entrenamiento.

Por lo general, cuando existe una anemia, incluyendo la anemia deportiva, la concentración de hemoglobina se encuentra reducida, aunque no en todos los casos es así. El hematocrito es un elemento adicional para detectar anemias ocultas (Bauer, 1986).

2.3.2 Glucosa

La glucosa es un hidrato de carbono simple, con fórmula general $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, además es de los azúcares más abundantes en la dieta que consume un humano; cumple con una función muy importante dentro del metabolismo de carbohidratos, ya que a partir de la glucosa se inicia el proceso de glucólisis, en el cual suceden una serie de reacciones de óxido-reducción catalizadas por un sistema multienzimático y se lleva a cabo la degradación de moléculas combustibles (glucosa) donde a partir del proceso, se recupera parte de su energía química en forma de ATP (Lehninger, 1985).

La glucosa puede ser almacenada en forma de glucógeno en varios tipos de tejidos, principalmente hígado y músculo esquelético; la liberación de glucosa a través de la degradación del glucógeno hepático, así como la síntesis de éste, es regulada hormonalmente según las necesidades de diferentes tejidos como el muscular o cerebro.

En situaciones de ayuno o de una alimentación carente de azúcares, la gluconeogénesis permite sintetizar glucosa a partir de aminoácidos glucogénicos, glicerol de los lípidos y ácidos grasos (Macarula, 1992). En condiciones normales, el nivel de glucosa en la sangre de una persona sana se mantiene constante (60-110 mg/dl) incluso durante un ayuno de 24 horas (en el estado de reposo). Sin embargo, cuando se realizan trabajos musculares intensos o muy prolongados, se observan cambios en la concentración de glucosa en sangre (Menshikov y Volkov, 1990).

Interpretación: Cuando el trabajo físico es corto y de máxima intensidad, generalmente aumentan los niveles de glucosa sanguínea; esto se debe a la intensa movilización del glucógeno hepático por vía refleja y humoral. Ese nivel puede alcanzar hasta 200-250 mg/dl en sangre (Ponce, 1981).

Si se trata de una carga física prolongada las concentraciones de glucosa sanguínea tienden a disminuir, por lo general, debido a su gran utilización durante los procesos oxidativos de carbohidratos. Para el aseguramiento energético, además del glucógeno muscular se empieza a utilizar el hepático y otros compuestos energéticos como los lípidos. La disminución constante y paulatina de las reservas de carbohidratos, como resultado de un trabajo físico prolongado, provoca la disminución de la glucosa sanguínea, por lo que en algunos casos, puede descender hasta 40-60 mg/dl. La disminución de la glucosa sanguínea altera el funcionamiento del SNC como resultado de la sensibilidad del encéfalo a la falta de glucosa. Este fenómeno puede llegar a producir un síndrome de hipoglucemia, el cual va acompañado de mareos y desmayo. En este estado se debe suministrar glucosa al organismo para su recuperación (Ponce, 1981).

Por efecto del estado de sobreexigencia, los procesos de oxidación se alteran y disminuye también la intensidad de los fenómenos glucolíticos anaerobios. Finalmente, cuando se produce un estado profundo de sobrecarga, disminuye la concentración de glucógeno muscular (Ponce, 1981).

2.3.3 Ácido Láctico

En condiciones anaeróbicas, el piruvato es reducido a ácido láctico, como producto final de la secuencia glucolítica, el cual se difunde a través de la membrana plasmática de la célula hacia el entorno de desecho. Cuando las células musculares de los animales superiores actúan de manera anaeróbica durante esfuerzos de corta duración, excepcionalmente vigorosos, el lactato escapa desde las células musculares hasta el torrente sanguíneo en cantidades grandes, y posteriormente es transformado nuevamente a glucosa en el hígado durante la recuperación (Lehninger, 1985).

La cantidad de lactato que pasa desde las miofibrillas musculares a la sangre durante el trabajo físico depende de la intensidad con que se realice el ejercicio, debido a ello, este parámetro ocupa un lugar importante en el seguimiento bioquímico, ya que está estrechamente relacionado con el entrenamiento de intensidad (Ponce, 1981).

Interpretación: Cuanto más intenso es el trabajo físico, mayor es la deuda de oxígeno y los carbohidratos que están degradándose en condiciones anaeróbicas producen un aumento notable de la concentración de ácido láctico en la sangre y en su acumulación en los músculos, lo que causa la fatiga, debido a la acidificación muscular (Lehninger, 1985).

En los atletas entrenados, la tolerancia del organismo a la acumulación de productos no oxidados aumenta y los niveles de ácido láctico pueden llegar casi 10 veces más de lo normal, desde 0.9-1.2 mmol/l hasta 9-12 mmol/l (Ponce, 1981).

En las cargas de trabajo prolongado, cuando el organismo ha alcanzado un estado casi estable (o sea, que la deuda de oxígeno está prácticamente ausente), los procesos metabólicos anaeróbicos disminuyen mucho, por tal razón, las concentraciones de ácido láctico en sangre aumentarán muy poco (Ponce, 1981).

El nivel de ácido láctico en la sangre de deportistas bien entrenados y que se encuentran en reposo disminuye hasta niveles de 0.9-1.2 mmol/l, mientras que las cantidades normales aproximadas en una persona sedentaria son de 1.0-1.8 mmol/l (Ponce, 1981).

2.3.4 Urea

La urea es el producto final del catabolismo proteico. Como cualquier otro componente de sangre, su concentración es resultado de dos procesos: el ritmo con que la urea está entrando al torrente sanguíneo desde las células y su eliminación a través de los riñones, hígado y piel. El aumento de urea puede ser por estimulación de los procesos catabólicos (destrucción de proteínas provenientes del mismo organismo o las ingeridas con el alimento) o por el retraso de eliminación de este producto tóxico, a través de los riñones (Menshikov y Volkov, 1990).

Separar estos dos factores no es fácil, pero cuando no existen problemas patológicos ni hay una sobrecarga de ingestión de proteínas en la alimentación, un aumento en la concentración de urea en sangre durante un programa de entrenamiento refleja el aumento del catabolismo proteínico. Más arriba de niveles de 60-70 mg/dl puede llegar a afectar el funcionamiento de los riñones y provocar la aparición de sangre en orina, si el programa de entrenamiento no es ajustado en el momento que se detecta este aumento (Ponce, 1981).

La urea puede elevarse hasta 60 mg/dl durante uno o dos días de entrenamiento en atletas de alto rendimiento o puede disminuirse hasta niveles normales en el mismo período de tiempo, si la carga de entrenamiento se reduce. Por esta razón es muy importante tener un control bioquímico continuo, con análisis cada tercer día en casos de entrenamientos muy fuertes o por lo menos semanalmente (*com. per.* Laboratorio de Bioquímica del Centro Nacional de Medicina y Ciencias Aplicadas al Deporte, *CONADE*).

En una persona con actividad normal que ingiere una dieta suficiente de proteínas y posee un balance nitrogenado equilibrado, el rango normal de urea es de 15-32 mg/dl y la cantidad de urea eliminada varía en relación con las cantidades de proteínas ingeridas con el alimento (Ponce, 1981).

Interpretación: Esta depende de la etapa de preparación en la que se encuentre el deportista. En período de preparación general, el atleta alcanza niveles muy altos de urea (hasta 60-70 mg/dl) durante trabajos físicos de máxima carga, en este caso el parámetro sirve como índice de carga de entrenamiento suficiente y alerta al entrenador con respecto a los ejercicios de intensidad, principalmente. Sin embargo, cuando el atleta se encuentra en el período competitivo es recomendable que estos niveles se disminuyan (Ponce, 1981).

En los deportes de resistencia de larga duración tipo IV, se ha observado un mayor transporte o degradación de proteínas durante la actividad y en ocasiones, se incrementa el aporte energético hasta en un 10% a través de la utilización de proteínas (Zintl, 1991), por lo que los niveles de urea en sangre pueden ser un indicativo importante de la catálisis de proteínas tisulares del organismo en esos momentos.

2.3.5 Enzimas

La actividad de las enzimas que están relacionadas con el metabolismo celular y en particular, con el metabolismo energético se puede determinar con análisis de sangre, como la *CK*, *LDH*, *GOT*, *GTP*. Algunas de estas enzimas son específicas a determinados tejidos (Lenhinger, 1985). Su estudio ayuda a conocer el funcionamiento de las rutas metabólicas energéticas implicadas durante un trabajo físico.

Todas las enzimas catalizan diferentes reacciones bioquímicas en el interior de las células, por lo que la cantidad de enzimas dentro de la célula puede variar, ya sea por síntesis (inducción) o por inhibición (represión). La influencia reguladora puede ser ejercida en la actividad de los genes por las hormonas y por la alta concentración de los sustratos y productos metabólicos. Precisamente tal vía de regulación de los procesos metabólicos sirve de base para la adaptación bioquímica del organismo a las cargas físicas de trabajo (Menshikov y Volkov, 1990).

Las enzimas contenidas en la sangre se encuentran en concentraciones aproximadamente constantes, por lo que su aumento en el torrente sanguíneo es por lo general, un indicio de situaciones anormales en los tejidos (Ponce, 1981).

Los factores que pueden influir en la cantidad (actividad) de enzimas contenidas en sangre son por cambios en la permeabilidad de las membranas celulares o por casos de lesiones o enfermedades graves que provocan la muerte de muchas células y hay salida de gran cantidad de enzimas al torrente sanguíneo (Menshikov y Volkov, 1990).

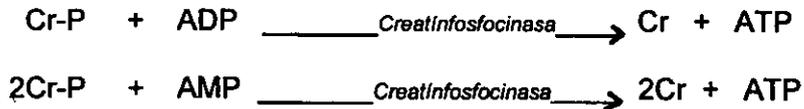
En condiciones normales, sin enfermedades o lesiones, las enzimas pueden llegar a la sangre debido a la permeabilidad de las membranas de las células, ya que estas atraviesan las bicapas fosfolipídicas desde el medio intracelular hacia el extracelular. Debido a esto, el nivel de enzimas contenido en la sangre, medido por su actividad, pueden considerarse como un indicador de la permeabilidad de las membranas celulares.

Las enzimas estudiadas en este trabajo son:

2.3.5.1 Creatinfosfocinasa (CK)

En músculo hay la presencia de sustancias que aportan grupos fosfatos ricos en energía para cederlos al ADP o AMP y convertirlo en ATP, a éstas, se le conocen como fosfógenos. El músculo estriado en reposo contiene Creatinfosfato (CrP), que es un compuesto de elevada energía de hidrólisis; se encuentra en una concentración cuatro o cinco veces más que el ATP. Su grupo fosfato de alta energía es rápidamente transferido al ADP (o al AMP) por la acción de la enzima Creatinfosfocinasa (Lehninger, 1985; Ponce, 1981).

La degradación de CrP en el músculo, para permitir la resíntesis del ATP, es un proceso anaerobio y puede ocurrir de dos formas conocidas como reacción de Loman (Ponce, 1981):



Este equilibrio a pH fisiológico (pH=7) está desplazado hacia la formación de ATP, al llegar a un pH=8 la degradación del CrP se inhibe (Lehninger, 1985; Ponce, 1981).

Cantidades significativas de ATP resintetizado anaeróticamente provienen de la degradación de CrP y de rutas glucolíticas. Ambas son las principales rutas que pueden suplir la demanda extrema de energía que se requiere durante la realización de ejercicios de gran intensidad dirigido a la fatiga en tres minutos o menos (Hargreaves, 1995)

La mayoría de la actividad de esta enzima en sangre, proviene principalmente del tejido muscular.

Interpretación: El análisis de CK (como enzima del metabolismo fosfocreatínico) en el suero sanguíneo pueden indicar si la anterior carga de entrenamiento era demasiado elevada frente a la capacidad regenerativa existente. Las enzimas pueden llegar a la sangre debido a la permeabilidad de la membrana de la célula muscular en caso de esfuerzos intensos, por lo que, los valores de CK pueden ser indicativos de la respuesta del organismo a la intensidad de carga del entrenamiento (Zinti, 1991).

La interpretación de CK dentro de programas de entrenamiento de deportistas de alto rendimiento depende de la etapa que se encuentre desarrollando el atleta. En la preparación general, con trabajo de cargas máximas, es un buen indicativo cuando los niveles se elevan hasta 300-400 U/L (1), incluso llegan a subir hasta 3000 U/L, debido a una alta permeabilidad de las membranas plasmáticas de las células musculares, sin embargo, cuando se registran estos mismos valores en la semana previa a la competencia, esto puede ser un indicativo de la posible pérdida de reservas de los componentes necesarios, por lo que hay peligro de no recuperarlas en este corto período (*com. per.* Laboratorio de Bioquímica del Centro Nacional de Medicina y Ciencias Aplicadas al Deporte de la CONADE),

Los valores de referencia normales para CK son de 20-50 U/L en el hombre y de 10-40 U/L para mujeres (Bauer, 1986).

(1) Se define como unidad internacional de actividad enzimática U, a la cantidad de enzima necesaria para catabolizar la transformación de un μmol de sustrato en un minuto, a 25°C y en condiciones estandarizadas. La actividad específica es el número de unidades internacionales por mg de proteína o por L de disolución (Macarula, 1992). Las unidades internacionales U/L serán utilizadas frecuentemente en este trabajo para expresar la actividad de las enzimas CK y LDH.

2.3.5.2 Enzima Lactatodeshidrogenasa (LDH)

La LDH es de naturaleza oligomérica y se presenta en distintos tejidos en formas química y estructuralmente análogas y cinéticamente diferentes. En los animales superiores existen al menos cinco formas moleculares diferentes de esta enzima (isoenzimas) todas ellas pueden salir de las células a la sangre; la isoenzima H₄ predomina en el músculo cardíaco y la M₄ predomina en músculo esquelético; sin embargo, también está presente en otros tejidos, como los glóbulos rojos, hígado y cerebro. Estas enzimas pueden funcionar en ausencia de oxígeno, siempre que haya disponible suficiente cantidad de aceptor (coenzima). En la última etapa de la glucólisis, la enzima óxido-reductasa L-lactatodeshidrogenasa cataliza la oxidación reversible del ácido láctico a pirúvico, utilizando NAD⁺ como coenzima (Fersht, 1980; Menshikov y Volkov, 1990).



Durante la realización de actividad física muy intensa (esfuerzos anaeróbicos de muy corta duración e intensos) hay formación de grandes cantidades de ácido láctico en músculo. Una parte del lactato puede salir al torrente sanguíneo, ser transportado hasta hígado y allí utilizarse en los procesos de gluconeogénesis; cierta cantidad de este ácido sale del organismo con el sudor y la orina. Sin embargo, en condiciones aeróbicas, el ácido láctico se puede oxidar y volver a convertir en ácido pirúvico. Después de este proceso, sigue una serie de oxidaciones hasta convertirse en los productos finales del metabolismo, CO₂ y H₂O (Menshikov y Volkov, 1990).

Interpretación: La actividad de esta enzima en sangre puede ser interpretada como un indicador de la permeabilidad de membranas de varios tejidos en general, incluyendo los glóbulos rojos. Por lo que la actividad de la LDH se puede entender como la reacción a las cargas de entrenamiento de los diferentes tipos de tejidos. En atletas de alto rendimiento se ha llegado a registrar niveles de hasta 2000 U/L. Aunque se ha encontrado que los valores también varían, de acuerdo a la etapa de preparación que se encuentre desarrollando el deportista (*com. per.* Laboratorio de Bioquímica del Centro Nacional de Medicina y Ciencias Aplicadas al Deporte de la CONADE).

2.3.6 Lípidos

Los lípidos son biomoléculas orgánicas insolubles en el agua que se pueden extraer de las células y los tejidos mediante disolventes no polares. Existen diferentes familias o clases de lípidos, como los ácidos grasos, el colesterol, las lipoproteínas, los triglicéridos, algunas vitaminas y hormonas; pero por su estructura, todos ellos presentan propiedades distintivas (Lehninger, 1985).

Los lípidos desempeñan diversas funciones biológicas importantes, como 1) componentes estructurales de las membranas, 2) formas de transporte y almacenamiento de combustible catabólico, 3) cubierta protectora de la superficie celular de algunos organismos, 4) componentes de la superficie celular relacionados con el reconocimiento de las células, la especificidad de las especies y la inmunidad de los tejidos (Lehninger, 1985).

Los ácidos grasos desempeñan un papel sumamente importante en los animales superiores y plantas como combustibles ricos en energía, ya que pueden almacenarse en grandes cantidades en las células en forma de triglicéridos. Estos componentes están

bien adaptados a su función, poseen un elevado contenido energético (9kcal/g) debido a que pueden acumularse en forma casi anhidra, como gotitas de grasa intracelulares; en contraste con el glucógeno y almidón, que solamente rinden alrededor de 4 kcal/g y además estos últimos, por estar tan hidratados, no pueden almacenarse en forma tan concentrada como en el caso de los lípidos (Lenhinger, 1985).

El catabolismo de los ácidos grasos, sigue una ruta enzimática de oxidación para rendir acetil-CoA, que se incorpora al ciclo de los ácidos tricarboxílicos. La movilización, distribución y oxidación de los ácidos grasos se hallan integrados con la utilización de los combustibles glucolíticos, ambos procesos sometidos a una regulación endocrina compleja (Lenhinger, 1985). Los lípidos estudiados en el presente trabajo son:

2.3.6.1 Triglicéridos (TG)

Entre los lípidos consumidos en los alimentos predominan los TG. Estos son los ésteres de los ácidos grasos y del alcohol glicerina, constituyen la familia más abundante de lípidos y son los principales componentes de los lípidos de depósito de reservas de las células animales y vegetales. Son sólidos a temperatura ambiente y se les conoce como grasas neutras; son relativamente insolubles al agua. Con la catálisis de enzimas lipasas, los TG pueden descomponerse hidrolíticamente hasta formar glicerina y ácidos grasos libres, para posteriormente, ser utilizados como fuente de energía (Lenhinger, 1985; Menshikov y Volkov, 1990)

Interpretación: La disminución de los TG puede ser un indicativo indirecto de la utilización de los ácidos grasos como fuente de energía para realización de un trabajo físico. Si la concentración de este componente aumenta puede estar indicando un proceso de movilización de las reservas.

2.3.6.2 Colesterol

El colesterol es el mayor esteroide en el humano, componente estructural de las membranas y lipoproteínas en plasma; es también, el material precursor de sales biliares y hormonas esteroides. Su molécula se caracteriza por contener al menos 27 carbonos y un grupo hidroxilo. Es sintetizado desde acetil-coenzima A y, frecuentemente encontrado como ácido graso en lipoproteínas en sangre. El colesterol es vital para el funcionamiento de las células, aunque, cantidades excesivas debido a anomalías del metabolismo del colesterol o su transporte, pueden desarrollar aterosclerosis (Gurr y Harwood, 1991).

La molécula de colesterol no es utilizada directamente como fuente de energía en el metabolismo, sin embargo, un gran porcentaje del aporte energético en los deportes de resistencia sucede principalmente a través de la oxidación de grasas (metabolismo de lípidos). Esto es importante para proteger los depósitos de glucógeno. Las grasas proceden principalmente del tejido adiposo subcutáneo y de los lípidos depositados en las células musculares (triglicéridos intracelulares) (Zintl, 1991).

Los cambios en el metabolismo energético relacionados con la utilización de grasas como fuentes de energía, influyen a diferentes tipos de colesterol, por esta razón, los niveles de colesterol en sangre pueden ser buenos indicadores indirectos de los procesos metabólicos durante el ejercicio, además, la obtención de este parámetro presenta menor dificultad para su medición que los métodos para los ácidos grasos libres, como una medida más directa.

Interpretación: Los cambios del Colesterol Total durante un programa de ejercicios dependen de la carga de entrenamiento y de su intensidad. En el entrenamiento aeróbico sus niveles puede bajar notablemente, pero después de determinada carga de este mismo entrenamiento se observa que el Colesterol Total empieza a subir. Por lo general, con el trabajo físico intenso también se observa un aumento en los niveles de Colesterol Total. Los atletas de resistencia usualmente muestran el aumento de este componente en un 50-70% cuando trabajan en su máxima carga de entrenamiento (Kormanovsky, 1997).

2.3.6.2.1 Lipoproteína de Muy Baja Densidad (VLDL)

Son ricos en triglicéridos y su función principal es transportar lípidos de origen endógeno sintetizados principalmente en el hígado o intestino (Gurr y Harwood, 1991).

Interpretación: Los niveles de las VLDL cambian mucho dependiendo del programa de entrenamiento que se desarrolle. Durante programas predominantemente aeróbicos con mucho volumen (deportistas de ultra-resistencia) los niveles tienden a bajar hasta ser casi indetectables y, en casos de sobrecarga con trabajos de gran intensidad (predominantemente anaeróbicos), las VLDL suben hasta niveles entre 100-150 mg/dl. En general, se ha encontrado que los atletas de resistencia aeróbica presentan menores niveles de este parámetro que en atletas velocistas (Kormanovsky, 1997).

2.3.6.2.2 Lipoproteína de Baja Densidad (LDL)

Su función es transportar el colesterol a los tejidos donde pueden ser necesitados para la estructura de membranas o su conversión a varios metabolitos como hormonas esteroideas. Las LDL proveen el mayor acarreo de colesterol plasmático en el hombre. Son grandemente derivados de VLDL por una serie de escalones degradativos que remueven los triacilgliceroles, resultando una serie de partículas, que contienen fosfolípidos y colesterol. Esta partícula intermediaria, reacciona en los capilares sanguíneos asociados al tejido adiposo y más tarde en el hígado (Gurr y Harwood, 1991). El colesterol transportado por las LDL se le conoce popularmente como colesterol malo (Tudela, 1996).

Interpretación: Los niveles en las LDL son más estables durante el entrenamiento y no son tan notables como en otro tipo de colesterol (*com. per.* Laboratorio de Bioquímica de Medicina y Ciencias Aplicadas al Deporte de la CONADE; Kormanovsky, 1997).

2.3.6.2.3 Lipoproteína de Alta Densidad (HDL)

Su mayor función es transportar el exceso de colesterol desde células periféricas hasta el hígado; concentran el colesterol libre circulante y lo transportan hasta el hígado para su excreción. Estas lipoproteínas se producen en el hígado e intestino y se ha demostrado que niveles altos de HDL se relacionan con la disminución de la incidencia de infarto cardíaco. Las HDL que produce el hígado son reconocidas como factor protector contra la aterosclerosis, por eso al colesterol transportado por las HDL se le conoce popularmente como el colesterol bueno (Gurr y Harwood, 1991; Tudela, 1996).

Interpretación: Los niveles de las HDL disminuyen con el entrenamiento de intensidad y aumentan cuando el trabajo es predominantemente aeróbico (Kormanovsky, 1997). Este tipo de colesterol también es un buen indicador dentro del seguimiento de programas de entrenamiento de personas sedentarias o en recuperación después de alguna enfermedad grave. Los valores de referencia en personas sanas son para hombres entre 35-55 mg/dl y en mujeres 45-65 mg/dl (Bauer, 1986).

2.3.6.3 Coeficiente de Aterosclerosis

Debido a la interacción de los distintos colesterolos, se ha definido el Coeficiente de riesgo de Aterosclerosis para reflejar la proporción entre los colesterolos de baja y muy baja densidad con el colesterol alta densidad. Este parámetro se encuentra dentro de un rango normal de 2-6 unidades como valor de referencia. Niveles más altos muestran un riesgo de padecer aterosclerosis, porque la sangre contiene más lipoproteínas que transportan el colesterol hacia el interior de los tejidos (baja y muy baja densidad) que lipoproteínas que sacan el colesterol de los mismos (alta densidad), por lo que el colesterol se va acumulando en los tejidos y provoca el desarrollo de aterosclerosis, es decir, la obstrucción progresiva de las arterias coronarias y sus principales ramas (Chatton, 1974).

El cálculo del Coeficiente de Aterosclerosis se realiza a través de la ecuación:
 $C.A. = (Colesterol\ Total - HDL) / HDL$

Interpretación: Durante el programa de entrenamiento aeróbico este parámetro tiende a disminuir hasta niveles de 2 unidades o menos. Con sobrecarga de ejercicios de intensidad aumenta en los deportistas hasta 4-6. Este componente es un buen parámetro para checar el balance entre el entrenamiento aeróbico y de intensidad (Kormanovsky, 1997).

Parámetro	Hombres	Mujeres
Ácido láctico	1-1.8 mmol/l	1-1.8 mmol/l
Coeficiente de Aterosclerosis	2-6 unidades	2-6 unidades
Colesterol Total	150-240 mg/dl	150-240 mg/dl
Colesterol HDL	35-55 mg/dl	45-65 mg/dl
Colesterol LDL	50-150 mg/dl	50-150 mg/dl
Creatinfosfocinasa	20-50 U/L	10-40 U/L
Glucosa	60-110 mg/dl	60-110 mg/dl
Hemoglobina	14-18 g/dl	12-16 g/dl
Lactatodeshidrogenasa	95-200 U/L	95-200 U/L
Triglicéridos	50-145 mg/dl	50-145 mg/dl
Urea	15-32 mg/dl	15-32 mg/dl

Tabla 2 Valores de referencia de diferentes componentes sanguíneos en adultos (Bauer, 1986). En personas que habitan en altitudes superiores a los 2,000 m s.n.m. se pueden observar variaciones en algunos de los valores de referencia, especialmente para el caso de la Hemoglobina (Ponce, 1981).

2.3.7 Dificultades para la interpretación de las concentraciones de un componente en sangre.

Como se comentó en el punto 2.3, la variación de la concentración de cualquier componente en la sangre, durante la actividad física prolongada, depende principalmente de dos procesos: la utilización del componente en los tejidos, donde es consumido para la realización de los procesos energéticos ó por movilización de los depósitos de reserva. Pero existen otras variables que pueden estar influyendo en estas variaciones y que dificultan la interpretación, en la Figura 2 se muestran los principales factores que influyen en la variación de la concentración de un componente bioquímico en sangre.

Por ejemplo, otros factores que influyen son la asimilación y la eliminación. La asimilación consiste en la obtención de las sustancias del medio exterior (entrada) y su catálisis en sustancias más sencillas dentro del organismo. La eliminación se entiende como la salida de los productos finales del catabolismo nuevamente hacia el medio externo del organismo (Menshikov y Volkov, 1990). Es importante considerar estos procesos dentro de un seguimiento bioquímico realizado a atletas, sin embargo, en ocasiones es difícil medirlos o controlarlos estrictamente. Por lo mismo, se debe tener presente la influencia que estas variables pudieran presentar sobre los resultados y considerarlos en su análisis.

Por otra parte, pueden ocurrir variaciones de la concentración en sangre de ciertos componentes como el caso de los colesterolos (Total, HDL, LDL, VLDL) y ácidos grasos libres, relacionados con procesos bioquímicos que se llevan a cabo dentro del mismo medio, ya que en la sangre también se contienen enzimas catalizadoras específicas.

Agentes del medio externo, como la presión atmosférica y la temperatura ambiental pueden ejercer cierta influencia en la variación de la concentración de un componente.

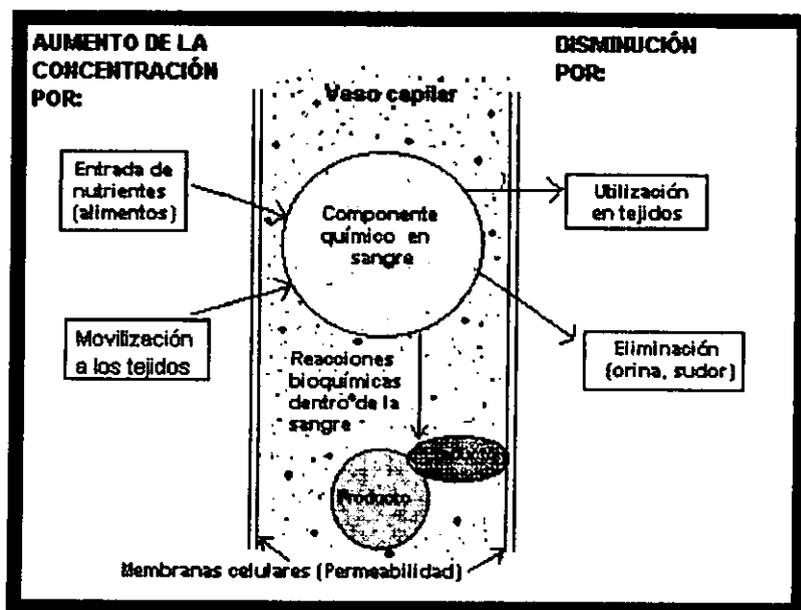


Figura 2 Esquema que muestra los principales factores que influyen en la variación de la concentración de un componente en sangre.

3. HIPÓTESIS

Si los estímulos de la carga externa del entrenamiento producen modificaciones en el organismo a un nivel bioquímico durante la actividad física, entonces las variaciones de los componentes químicos sanguíneos involucrados en los procesos del metabolismo energético presentan cierto grado de asociación con los diferentes rangos de entrenamiento.

4. OBJETIVOS

- Describir cualitativa y cuantitativamente las modificaciones bioquímicas que ocurren en una nadadora de largas distancias durante el desarrollo de un programa de entrenamiento deportivo específico.
- Analizar las relaciones existentes entre los diferentes rangos de entrenamiento y los componentes químicos sanguíneos durante el seguimiento de dicho programa.
- Describir cualitativa y cuantitativamente las modificaciones bioquímicas que ocurren en la atleta durante las pruebas de 12 y 24 horas de nado continuo.
- Destacar la importancia del seguimiento bioquímico como una herramienta para conocer científicamente el proceso de asimilación de las cargas de entrenamiento y la respuesta fisiológica de los atletas durante la realización de un ejercicio.

3. HIPÓTESIS

Si los estímulos de la carga externa del entrenamiento producen modificaciones en el organismo a un nivel bioquímico durante la actividad física, entonces las variaciones de los componentes químicos sanguíneos involucrados en los procesos del metabolismo energético presentan cierto grado de asociación con los diferentes rangos de entrenamiento.

4. OBJETIVOS

- Describir cualitativa y cuantitativamente las modificaciones bioquímicas que ocurren en una nadadora de largas distancias durante el desarrollo de un programa de entrenamiento deportivo específico.
- Analizar las relaciones existentes entre los diferentes rangos de entrenamiento y los componentes químicos sanguíneos durante el seguimiento de dicho programa.
- Describir cualitativa y cuantitativamente las modificaciones bioquímicas que ocurren en la atleta durante las pruebas de 12 y 24 horas de nado continuo.
- Destacar la importancia del seguimiento bioquímico como una herramienta para conocer científicamente el proceso de asimilación de las cargas de entrenamiento y la respuesta fisiológica de los atletas durante la realización de un ejercicio.

5. MÉTODO

A fin de comprobar la hipótesis planteada y alcanzar los objetivos propuestos, se estableció una estrategia experimental que incluyó los seguimientos bioquímicos, la toma de muestras de sangre y la determinación de los parámetros bioquímicos durante el programa de entrenamiento de una nadadora de largas distancias, para posteriormente aplicar el análisis estadístico como una herramienta para buscar las relaciones entre las múltiples combinaciones de variables de entrenamiento y bioquímicas y determinar su grado de asociación.

5.1 Estrategia experimental

5.1.1 Seguimientos bioquímicos

Se tomaron muestras de sangre de la nadadora semanalmente durante el período de preparación general del programa de entrenamiento. Se cuantificaron las concentraciones de Hemoglobina, Urea, CK, LDH, Colesterol Total, HDL, LDL y VLDL. También se calcularon las proporciones de LDH/CK y el de CK/urea. Estos resultados fueron comparados con las cargas de entrenamiento realizadas por la atleta en la semana anterior inmediata al análisis bioquímico.

En el proceso de entrenamiento y realización de la prueba de 24 horas, se definieron dos eventos relevantes: la prueba misma, objeto del entrenamiento, y una de 12 horas de nado continuo dos meses antes. Se llevó a cabo el análisis bioquímico de la atleta, mediante el muestreo antes, durante y después de estos eventos.

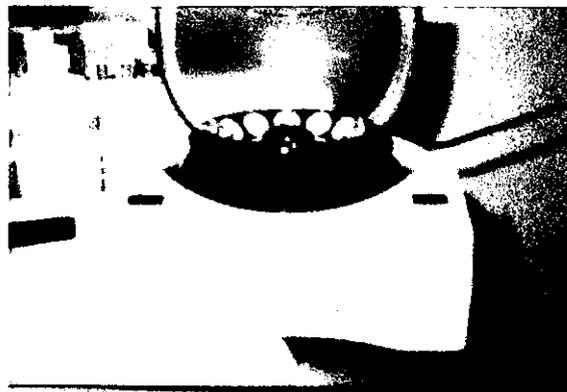
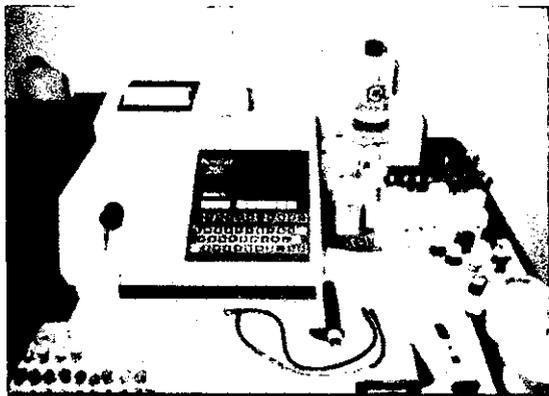
Los resultados de las muestras obtenidas antes de la prueba permiten definir el estado de base, previo al esfuerzo, por lo que nos dan el parámetro a partir del cual observaremos el comportamiento de la bioquímica de la nadadora en las muestras realizadas durante la prueba. Las muestras obtenidas después, permiten analizar el gradiente de recuperación de la atleta.

Los parámetros bioquímicos estudiados en las pruebas de nado continuo fueron: Glucosa, Ácido láctico, Triglicéridos, Urea, CK y LDH, Colesterol Total, HDL, LDL y VLDL, así como el Coeficiente de Aterosclerosis. Se describieron los cambios de estos componentes y las variaciones en el rendimiento de la deportista (medida por la velocidad de nado) a través del desarrollo de ambos eventos.

5.1.2 Toma de muestras de sangre

En el laboratorio, semanalmente y en ayunas, se obtuvo una muestra de sangre capilar por medio de una punción en el dedo índice de la atleta y la extracción aproximada de 0.5 ml (de 5 a 6 gotas de sangre) distribuida en un tubo capilar y en un tubo Eppendorf para microcentrifuga sin anticoagulante.

En el campo, es decir, la alberca donde se realizaron las pruebas de 12 y 24 horas, se obtuvieron muestras de sangre capilar de la misma manera que en laboratorio, pero en este caso la nadadora se encontraba dentro de la piscina. Por lo que en ocasiones dificultó obtener suficiente cantidad de sangre para su posterior procesamiento.



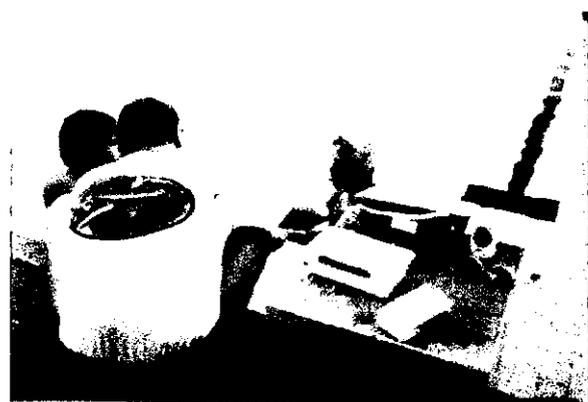
a y b. Material utilizado para el análisis bioquímico y la determinación de los parámetros: reactivos, lancetas, fotómetro, microcentrifuga, tubos capilares y Eppendorf, pipetas, alcohol, algodón, etc.



c y d. Obtención de muestras de sangre en la alberca donde la nadadora realizó las pruebas específicas. Antes de iniciarse el evento.



e. Durante el desarrollo del evento.



f. Al finalizar la prueba.

Figura 3. Material utilizado para el análisis bioquímico y secuencia de la toma de muestras de sangre en la piscina

La toma de muestra en las 12 horas se realizó cada dos horas y la del final, después de una hora de recuperación. En la prueba de 24 horas la toma fue cada 6 horas, ya que por la característica del evento, en el que se buscaba acumular el mayor kilometraje, se disponía de poco tiempo para la obtención de la sangre y por otro lado, se procuró evitar dañar a la atleta con las punciones de la lanceta debidas a una colecta más frecuente. La muestra final se obtuvo después de 18 horas de recuperación.

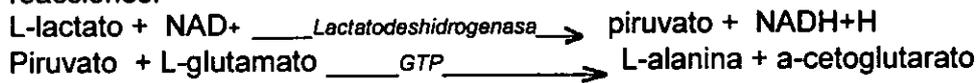
5.1.3 Determinación de los parámetros bioquímicos

Hemoglobina: La muestra del tubo capilar se centrifugó y posteriormente, con un fotómetro automático se determinó la concentración de hemoglobina en sangre.

La muestra contenida en el tubo Eppendorf se centrifugó y el suero sanguíneo obtenido del sobrenadante fue utilizado para la determinación de la concentración de los componentes bioquímicos. Se aplicaron diferentes procedimientos para la determinación que se detallan a continuación.

Glucosa: Se aplicó el método GOD-PAD para una determinación fotométrica de este componente. Fundamento: La glucosa oxidasa (GOD) cataliza la oxidación de la glucosa; el peróxido formado reacciona con la 4-aminoantipirina y con el fenol en presencia de peroxidasa, formando una quinoneimina coloreada, la cual es directamente proporcional a la concentración de la glucosa en la muestra. Se utilizó un reactivo Merck 10472. Se efectuó una técnica sin desproteinización en la que se mezclaron 5 µl de suero y 0.5 ml de solución reactiva. Se incubaron por 30 minutos a +25°C y posteriormente, se midió la absorbancia de la muestra en un fotómetro semiautomático computarizado, con una longitud de onda 540 nm y con un paso de luz de la cubeta de 1 cm.

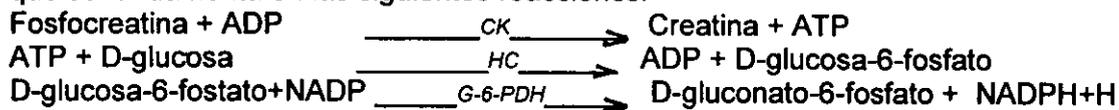
Ácido láctico: Se aplicó un método de análisis enzimático fundamentado en las reacciones:



Se utilizó un reactivo Lakeside 1178750 y adicionalmente, una solución desproteinizadora de ácido perclórico a 0.165 mol/l. Inmediatamente después de la toma de muestra se efectuó la desproteinización con 0.1 ml de HClO₄ y 10 µl de muestra. Esta mezcla se centrifugó por 2 minutos a aproximadamente 12000 rpm. Se mezcló 50 µl del sobrenadante separado y 0.5 ml de reactivo. La incubación fue por 30 minutos a 25°C y posteriormente se realizó la medición en el fotómetro a 340 nm y con un paso de luz de 1 cm.

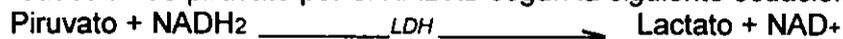
Urea: Se aplicó el método colorimétrico de DAM, fundamentado en que la urea forma una solución de diacetilmonoxima en presencia de tiosemicarbacida. Esta es una sustancia de color rojo que se determina fotométricamente. La concentración del colorante es proporcional a la concentración de urea en la muestra. La determinación se efectuó sin desproteinización, mezclando 0.05 ml de suero diluido (0.05 ml + 1 ml de agua) y 1 ml del reactivo Merck 3341. Esta mezcla se dejó por 6 minutos en baño de agua hirviendo y 10 minutos después de haberla sacado del baño, se midieron las extinciones en intervalos de 5 minutos. Se utilizó un filtro de 540 nm y un espesor de cubeta de 1 cm.

Creatinfosfocinasa: Se utilizó el método enzimático de prueba UV optimizada, que se fundamenta en las siguientes reacciones:



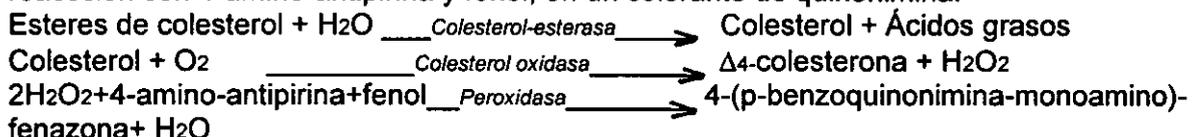
Donde la velocidad de aumento de NADH se mide fotométricamente y sus valores son directamente proporcionales a la actividad de CK en el material de muestra. Se utilizó un reactivo Merck 12134, mezclando 0.02 ml de suero y 0.5 ml de solución reactiva. Se mantuvo la solución de reacción a una temperatura constante (25°C) durante 3 minutos y luego se midió el aumento de la extinción (absorción) cada minuto, durante 4 minutos. La lectura se hizo en un fotómetro de filtros a una longitud de onda de 340 nm.

Lactatodeshidrogenasa: Se utilizó el método enzimático de prueba UV optimizada, fundamentada en que las enzimas Lactatodeshidrogenasas catalizan la reducción de piruvato por el NADH₂ según la siguiente ecuación:



Para la valoración cuantitativa de la enzima se deja actuar el suero problema sobre el piruvato y NADH₂ y se mide fotométricamente la velocidad de reacción. La velocidad de consumo de NADH es directamente proporcional a la actividad de LDH en la muestra. Se mezcló 0.02 ml de suero y 0.6 ml de reactivo Merck 15862. Enseguida se pasó a la cubeta del fotómetro para medir la extinción (absorción) a una temperatura constante de 25°C cada minuto, durante 4 minutos. La lectura se hizo en un fotómetro a una longitud de onda de 340 nm.

Colesterol Total: Se utilizó el método enzimático CHOD-PAP, fundamentado en que el colesterol y sus ésteres se liberan de las lipoproteínas por los detergentes. La colesterol-esterasa hidroliza los ésteres. En la oxidación enzimática por la colesterol-oxidasa, se produce H₂O₂. Esta se transforma, en presencia de peroxidasa, por la reacción con 4-amino-antipirina y fenol, en un colorante de quinonimina.



La concentración del colorante quinonimina es proporcional a la concentración de Colesterol Total en la muestra. Se mezclaron 5 µl de suero y 0.5 ml del reactivo Merck 14349. Se incubó por 15 minutos a 25°C y se midió la extinción a una longitud de onda de 540 nm y una cubeta de 1 cm de espesor.

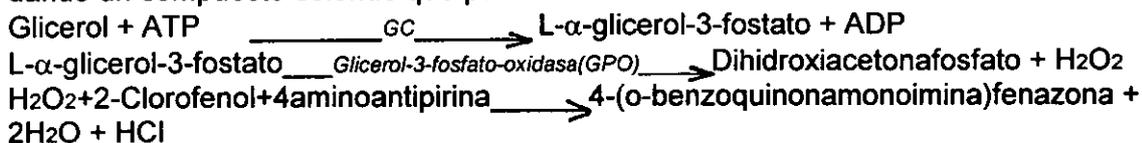
Lipoproteínas de Alta Densidad (HDL): Se determinaron con un reactivo de precipitación y el método CHOD-PAD, fundamentado en que las lipoproteínas de baja densidad (LDL) y de muy baja densidad (VLDL) se precipitan con ácido fosfotúngstico en presencia de iones magnesio y pueden ser removidas por centrifugación. En el sobrenadante claro quedan las lipoproteínas de alta densidad (HDL) y el colesterol-HDL puede valorarse utilizando el método CHOD-PAD. Se hizo la mezcla de 0.02 ml de suero y 0.05 ml de reactivo de precipitación Merck 14210; se dejó en reposo por 10 minutos a 25°C. Se centrifugó por 15 minutos a aproximadamente 4000 rpm. Dentro de las 2 horas siguientes después de haber centrifugado, se tomó una alícuota del sobrenadante para la determinación del colesterol HDL empleando el método enzimático CHOD-PAD.

Lipoproteínas de Baja Densidad (LDL): Se determinaron con un reactivo de precipitación y el método CHOD-PAD. Estas lipoproteínas se precipitan específicamente mediante la heparina en el punto isoeléctrico (pH=5.12), en tanto que las de alta densidad (HDL) y las de muy baja densidad (VLDL) permanecen en el sobrenadante. Por lo que, LDL-colesterol = Colesterol Total - Colesterol en el sobrenadante.

Se mezclaron 0.01 ml de suero y 0.1 ml de reactivo de precipitación Merck 14992. Se dejó en reposo durante 10 minutos a 25°C y posteriormente se centrifugó por 10 minutos a aproximadamente 4000 rpm. Se tomó el sobrenadante para la determinación de las LDL-colesterol empleando el método enzimático CHOD-PAD.

Lipoproteínas de Muy Baja Densidad (VLDL): Se calcularon indirectamente por medio de la ecuación:
Colesterol VLDL = Colesterol Total - Colesterol HDL - Colesterol LDL

Triglicéridos: Se utilizó el método enzimático colorimétrico GPO-PAP, fundamentado en que los triglicéridos son hidrolizados hasta glicerol y ácidos grasos libres, por lipasas especiales. El glicerol reacciona de acuerdo a las siguientes reacciones, dando un compuesto colorido que puede ser medido fotométricamente.



La intensidad del color desarrollado es directamente proporcional a la concentración de triglicéridos en la muestra. Se mezcló 5 µl de suero y 0.5 ml del reactivo Merck 14354. Se incubó por 10 minutos a 25°C y posteriormente se midió la extinción a una longitud de onda de 540 nm.

5.1.4 Programa de entrenamiento

La atleta, sujeto del presente estudio, tenía como base 15 años de practicar la natación de una manera sistemática y los últimos ocho años los ha dedicado al nado de largas distancias, deporte de ultra-resistencia de larga duración tipo IV.

Se implementó un programa de seis meses de entrenamiento específico para el cumplimiento del objetivo deportivo (ver anexo II, plan general). Dentro de los diferentes microciclos del período de preparación general y específico, se variaron las cargas y se combinaron los siguientes rangos de entrenamiento: aeróbico ligero (AEL), aeróbico medio (AEM), aeróbico intenso (AEI), anaeróbico aláctico (Analac), compensación, fuerza, carrera y resistencia específica de competencia (RES). Se llevó un registro del trabajo real efectuado por la nadadora (ver anexo III, registro del trabajo real).

Complementariamente al programa de entrenamiento, la nadadora siguió un plan alimenticio establecido por una nutrióloga, quien adecuaba la dieta de acuerdo con las variaciones de las cargas de entrenamiento (ver anexo IV, apoyo nutricional).

5.3 Análisis estadístico

Se aplicó el análisis con una técnica no paramétrica, donde se calculó el coeficiente de correlación de rango, r_s de Spearman (Levin y Rubin, 1996) como una medida del grado de asociación entre las variables de entrenamiento y las bioquímicas. Para la prueba de hipótesis se usó la tabla de "Valores para la correlación de rango de Spearman (r_s) para áreas combinadas en los dos extremos" (ver anexo I) con la que se determinaron los valores críticos de r_s para un tamaño de muestra $n=10$ y con niveles de significancia de 0.01, 0.05 y 0.1, la formulación de la hipótesis fue:

$H_0: \rho = 0$ donde, si $p \leq \alpha \Rightarrow$ rechazo H_0 , \therefore Hay correlación entre las variables

$H_a: \rho \neq 0$ si $p \geq \alpha \Rightarrow$ no rechazo H_0 , \therefore No hay correlación entre las variables

Con el cálculo de las correlaciones se establecieron los siguientes grados de asociación entre las variables bioquímicas y de entrenamiento:

- **Muy fuertemente** relacionadas: aquellas con probabilidad $p \leq 0.01$ (p-value [10]) para el coeficiente de correlación de Spearman, lo que significa que se rechaza la H_0 con un 99% de confiabilidad.
- **Fuertemente** relacionadas: aquellas con probabilidad $p \leq 0.05$ para el coeficiente de correlación de Spearman, lo que significa que se rechaza la H_0 con un 95% de confiabilidad.
- **Débilmente** relacionadas: aquellas con probabilidad $p \leq 0.1$ para el coeficiente de Spearman, lo que significa que se rechaza la H_0 con un 90% de confiabilidad.

Para la realización del análisis se tomaron en cuenta solamente aquellas semanas en que se tuvieron los datos completos de todos los parámetros en estudio, estas fueron: la 5, 6, 8, 11, 16, 17, 18, 19, 20 y la 21 (10 casos en total). La semana 15 no se consideró en el análisis, ya que en este periodo la atleta presentó un cuadro gripal, además de que había realizado un campamento de entrenamiento a nivel del mar (semanas 13 y 14) por lo que se decidió no contar ambos microciclos, y eliminar la influencia que pudieran tener los efectos del cambio de altura y la enfermedad, factores ajenos al entrenamiento, sobre la respuesta fisiológica de la atleta.

En el caso de la hemoglobina se hizo el análisis con las semanas donde se obtuvieron muestras de este componente, estas fueron: la 3,4,5,6,8,11,12 y 16. Los valores críticos de r_s para el tamaño de muestra $n=8$ también fueron determinados con los niveles de significancia de 0.01, 0.05 y 0.1

Los resultados que presentaron asociaciones importantes fueron analizados y representados gráficamente. Las semanas que se tomaron en cuenta para los análisis de correlación se muestran encerradas en un pequeño cuadro dentro de los gráficos.

En los eventos de 12 y 24 horas, se obtuvieron muy pocos casos para poder realizar un análisis estadístico. Por lo que en esta etapa de la investigación solamente se hizo la descripción cualitativa y cuantitativa de las modificaciones bioquímicas durante las pruebas.

6. RESULTADOS

Se creó una base de datos con un total de 23 registros del seguimiento bioquímico y del entrenamiento realizado por la nadadora durante el período de preparación general y específico (ver anexo V, base de datos). De ésta, se tomaron en cuenta 10 casos para el análisis estadístico de todas las variables del entrenamiento y bioquímicas (semanas 5,6,8,11,16,17,18,19,20 y 21) excepto para la hemoglobina, donde se tomaron en cuenta 8 casos (semanas 3,4,5,6,8,11,12 y 16).

A través del análisis se encontraron asociaciones importantes entre algunas variables de entrenamiento con los componentes bioquímicos estudiados. En la tabla 3 se muestra la matriz de los coeficientes de correlación de Spearman calculados. Se determinó el valor crítico de r_s para que se rechazara la H_0 , con 99%, 95% y 90% de confiabilidad con un tamaño de muestra de $n=10$. La tabla 4 muestra la matriz de las probabilidad correspondiente a cada par de variables.

Los pares de variables de entrenamiento y bioquímicas en que el r_s fue igual o mayor que 0.78 (nivel de significancia 0.01) se consideraron muy fuertemente relacionadas, estas fueron: AEM-CK, AEM-CK/Urea y AEL-Urea. Los pares de variables que presentaron un valor crítico de r_s entre 0.63 y 0.779 (nivel de significancia 0.05) se consideraron fuertemente relacionadas: Fuerza-Urea, Carrera-Urea y AEL-CK/Urea. Los pares de variables que su r_s estuvieron entre 0.55 y 0.629 (nivel de significancia 0.1), se interpretaron como débilmente correlacionadas, estas fueron: AEI-CK, AEI-CK/Urea, Vol.Total-CK/Urea, Compensación-LDH, Vol.Total-HDL, Fuerza-HDL, Vol.Total-Urea y AEI-Urea.

	CK	CK/Urea	LDH	LDH/CK	Col. Total	HDL	LDL+VLDL	Coef.Aterosc	Urea
Volumen Total	0.437		-0.325	-0.325	0.514		0.312	-0.074	
AEL	0.545	0.731	-0.103	-0.267	0.076	0.232	0.002	-0.078	
AEM			-0.256	-0.401	0.084	0.297	-0.01	-0.13	
AEI			0.235	-0.183	0.035	-0.01	0.036	0.144	-0.115
ANALAC	0.081	0.146	0.523	0.278	0.304	-0.083	0.306	0.34	-0.194
Res.Esp.Comp	-0.196	-0.227	-0.34	-0.081	0.512	0.415	0.352	-0.034	0.111
Compensación	0.341	0.346		0.091	-0.018	-0.095	0.011	0.16	-0.35
Fuerza	-0.485	-0.535	0.403	0.417	-0.378		-0.177	0.224	0.673
Carrera	-0.074	-0.343	0.391	0.08	-0.384	-0.31	-0.265	0.022	0.722

	Valor crítico $r_s = 0.78$ (con nivel de significancia 0.01)
	Valor crítico $r_s = 0.63$ (con nivel de significancia 0.05)
	Valor crítico $r_s = 0.55$ (con nivel de significancia 0.1)

Tabla 3. Matriz de los coeficientes de correlación de Spearman calculados para las diferentes variables de entrenamiento y bioquímicas [$n=10$]. En sombreado se observan los r_s que fueron significativos.

	CK	CK/Urea	LDH	LDH/CK	Col. Total	HDL	LDL+VLDL	Coef.Aterosc	Urea
Volumen Total	0.206		0.359	0.36	0.128		0.38	0.84	
AEL	0.103	0.016	0.777	0.457	0.834	0.518	0.995	0.831	
AEM			0.475	0.25	0.817	0.404	0.979	0.72	
AEI			0.513	0.614	0.923	0.977	0.922	0.691	0.751
ANALAC	0.823	0.687	0.121	0.437	0.393	0.819	0.389	0.337	0.59
Res.Esp.Comp	0.588	0.528	0.336	0.824	0.131	0.233	0.318	0.926	0.76
Compensación	0.335	0.327		0.802	0.961	0.794	0.975	0.658	0.321
Fuerza	0.155	0.111	0.248	0.23	0.282		0.625	0.533	0.033
Carrera	0.838	0.332	0.264	0.826	0.273	0.383	0.46	0.953	0.018

██████████ probabilidad = 0.01 (99% de confiabilidad)
██████████ probabilidad = 0.05 (95% de confiabilidad)
██████████ probabilidad = 0.1 (90% de confiabilidad)

Tabla 4. Matriz de probabilidades para las diferentes variables de entrenamiento y bioquímicas.

En el análisis de la hemoglobina, los valores críticos fueron: $r_s \leq 0.86$ (99% de confiabilidad, $p=0.01$); $r_s \leq 0.71$ (95% de confiabilidad, $p=0.05$) y, $r_s \leq 0.61$ (90% de confiabilidad, $p=0.1$). Solamente se obtuvieron relaciones débilmente asociadas (90% de confiabilidad) con AEL-Hemoglobina y Carrera-Hemoglobina. La tabla 5 muestra los coeficientes de correlación de Spearman calculados y las probabilidades para las diferentes variables de entrenamiento y la hemoglobina.

	Hemoglobina	
	r_s	probabilidad
Volumen Total	0.582	0.131
AEL		
AEM	0.272	0.515
AEI	0.388	0.342
ANALAC	0.047	0.911
Res.Esp.Comp	0.017	0.967
Compensación	0.329	0.427
Fuerza	-0.053	0.901
Carrera		

██████████ Valor crítico de $r_s = 0.619$,
██████████ probabilidad = 0.1
██████████ (90% de confiabilidad)

Tabla 5. Matriz de los coeficientes de correlación de Spearman calculados y probabilidades para las variables de entrenamiento y hemoglobina [n=8]. En sombreado se observan las relaciones que fueron significativas.

En la tabla 6 se encuentran las cuantificaciones de los componentes bioquímicos analizados durante las pruebas de 12 y 24 horas de nado continuo.

PRUEBA DE 12 HORAS

Hora	Glucosa (mg/dl)	TG (mg/dl)	Urea (mg/dl)	Col.Total (mg/dl)	HDL (mg/dl)	LDL (mg/dl)	VLDL (mg/dl)	Coef.Aterosc (unidades)	CK (U/L)	LDH (U/L)	Lactato (mmol/l)
0	82	114	18	208	44	73	90	3.7	20	238	1.3
1	92	157	23	223	46	73	104	3.8	30	278	4.5
2	104	122	24	231	62	77	102	3.4	41	281	3.1
4	84	105	20	230	61	71	108	3.6	57	324	3.6
6	80	105		224	55			3.1	66		
8	76	96		225	60	79	86	2.8	84	511	
10	104	114	34	216	48	70	98	3.6	90	264	3.3
12	112	122	24	200	49	66	85	3.1	149	271	3
1h-Recup.	118	87		202	62	65	85	2.9	166	247	

PRUEBA DE 24 HORAS

Hora	Glucosa (mg/dl)	TG (mg/dl)	Urea (mg/dl)	Col.Total (mg/dl)	HDL (mg/dl)	LDL (mg/dl)	VLDL (mg/dl)	Coef.Aterosc (unidades)	CK (U/L)	LDH (U/L)	Lactato (mmol/l)
0	122	49.8	19	200	47	100	42	3.3	32		Muestra Insuficiente
6	152	38	21	199	45	89	65	3.4	69		
13	91	59	21	189	48	80	61	2.9	160		
19	83	46	26	170	52	84	34	2.3	313		
24	78	34.6	28	168	58	95	16	1.9	411		
18h-recup	69	19	38	128	38	90	1	2.4	183		

Tabla 6. Análisis bioquímicos realizados a la nadadora antes, durante y después de las pruebas de 12 y 24 horas de nado continuo, los días 4/mayo/96 y 7-8/junio/96, respectivamente. Ambas pruebas se llevaron a cabo a nivel del mar.

7. DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

Creatincinasa

Esta enzima presentó asociaciones con los rangos de entrenamiento aeróbico medio y aeróbico intenso, en los dos casos las correlaciones fueron positivas.

Las variaciones de los niveles de la CK estuvieron muy fuertemente relacionadas con el trabajo en rango aeróbico medio y débilmente con el intenso. En general, se observó una tendencia al aumento en la actividad de la enzima en el suero sanguíneo cuando se realizó un aumento notable de las cargas de entrenamiento en estos rangos y también, se observó una disminución en la actividad de la CK si se disminuían las cargas.

Sin embargo, la correlación más significativa fue la asociación de la CK con el trabajo aeróbico medio. En la figura 4 se puede observar la distribución temporal de estas dos variables, donde para la semana 17 coincide el pico de mayor kilometraje nadado con uno de los valores más altos obtenido de este parámetro bioquímico (85 U/L).

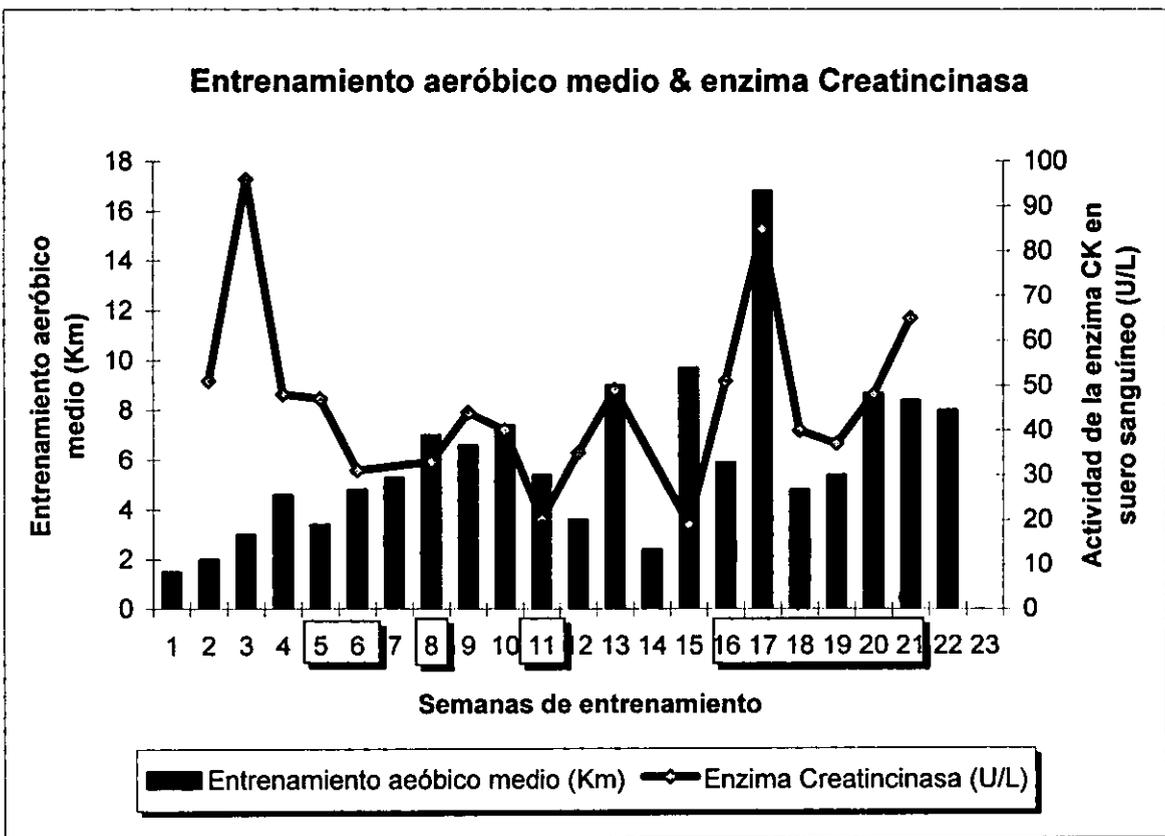


Figura 4. Curva que muestra el comportamiento de las variables de entrenamiento aeróbico medio y la actividad de la enzima Creatincinasa, durante el período de preparación general y específica para el nado continuo de 24 horas. Se encontró una muy fuerte asociación entre estas variables. El valor de r_s fue 0.797, (con 99% de confiabilidad).

En el caso de la asociación entre las variables aeróbico intenso y CK, aunque se encontró correlación, esta fue de manera débil (90% de confiabilidad). En la figura 5 se muestra la asociación entre el trabajo aeróbico intenso y la CK. En general, se observó una tendencia al aumento de la actividad de CK cuando el trabajo en rango aeróbico intenso fue mayor. La semana 15 no obedece este comportamiento, lo que se puede deber a la influencia de la enfermedad que tuvo la atleta en ese período y a los cambios de altitud, ya que en la semana previa se llevó a cabo un campamento de entrenamiento a nivel del mar.

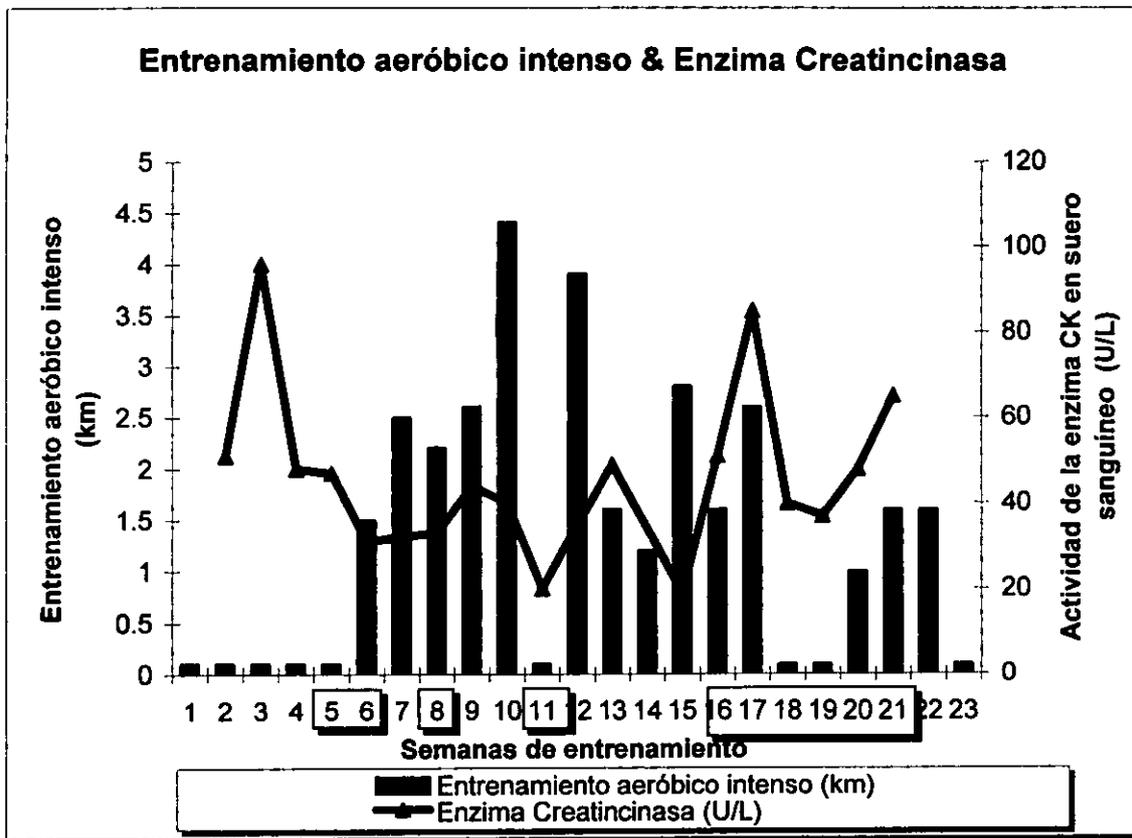


Figura 5. Curva que muestra el comportamiento de las variables entrenamiento aeróbico intenso y la actividad de la enzima Creatincinasa, durante el período de preparación general y específica para el nado continuo de 24 horas. Estas variables presentaron una asociación débil, $r_s = 0.57$ (con 90% de confiabilidad).

La importancia de la interpretación de este resultado consiste en que a partir de éste se puede verificar la respuesta fisiológica individual de la atleta, si bien es sabido que la CK participa en la resíntesis de ATP durante la glucólisis anaeróbica (Lehninger, 1985) algunos atletas de alto rendimiento reflejan incrementos importantes de esta enzima, principalmente por la realización de altos volúmenes de entrenamientos en rango aeróbico ligero y medio (extensivo) y no sólo por la realización de trabajo anaeróbico (intensivo) debido al tipo de metabolismo individual (Bali et al, 1997).

En el caso de la atleta en estudio, la realización de cargas de entrenamiento en rangos aeróbico medio e intenso fueron los principales factores de estímulo para favorecer la permeabilidad de las membranas de la célula muscular durante la actividad física, porque se encontró un alto grado de asociación entre estos tipos de entrenamiento y la actividad de la CK, que es una enzima específica del tejido muscular. Se considera que el AEM es el rango de entrenamiento que tuvo mayor efecto de este estímulo, ya que presentó una muy fuerte asociación con CK, con una confiabilidad del 99%.

El promedio de los niveles de CK en la atleta a lo largo de todo el período de preparación fue de 45.7 U/L. Estos niveles rebasaron los valores de referencia para mujeres sedentarias que es de 10-40 U/L (Bauer, 1986). Esto nos puede indicar el grado de adaptación de la deportista a este tipo de estímulos, ya que cuando se realizan cargas de trabajo físico muy intensas es importante contar con una alta permeabilidad de las membranas celulares para lograr un intercambio eficaz entre las células y la sangre, y poder eliminar efectivamente productos tóxicos provenientes de la célula así como recibir los componentes necesarios desde la sangre.

Lactatodeshidrogenasa

Las correlaciones que se obtuvieron para esta enzima con los diferentes rangos de entrenamiento no fueron significativas en casi todos los casos, excepto uno donde se observó una débil relación positiva con el rango de entrenamiento compensación ($r_s=0.572$ con $p \leq 0.1$ por lo que la H_0 fue rechazada con un 90% de confiabilidad). En general, se vio que a mayores volúmenes de compensación hay la tendencia al aumento en la actividad de la enzima LDH (ver figura 6).

Normalmente el rango de entrenamiento compensación (aeróbico) se combina con ejecuciones de cargas de gran intensidad, porque ayuda a la recuperación del organismo después de esfuerzos muy intensos o prolongados y a la remoción del ácido láctico producido, ya que en condiciones aeróbicas el lactato se puede oxidar y volver a convertir en ácido pirúvico. Después de este proceso, sigue una serie de oxidaciones hasta convertirse en los productos finales del metabolismo CO_2 y H_2O . La oxidación reversible del ácido láctico a pirúvico es catalizada por la LDH utilizando como coenzima NAD^+ (Menshikov y Volkov, 1990).

Por lo anterior puede inferirse que las variables bioquímica LDH y del entrenamiento en rango de compensación presentaron una débil correlación como resultado de la combinación de la realización de esfuerzos intensos o muy prolongados con el nado en rango aeróbico de compensación para garantizar la pronta y efectiva remoción del lactato producido y así lograr una adecuada adaptación al entrenamiento.

Por otra parte, la enzima LDH se encuentra en diferentes tipos de tejidos como los glóbulos rojos, hígado, cerebro y músculo cardíaco y su actividad en suero sanguíneo es un indicador de la permeabilidad de las membranas celulares de estos tejidos, así como de su reacción a las cargas del entrenamiento. Los niveles de LDH observados en la atleta se mantuvieron muy cerca de los valores de referencia que son de 95-200 U/L (Bauer, 1986). El promedio de esta enzima a lo largo de todo el período de preparación fue de 217.4 U/L.

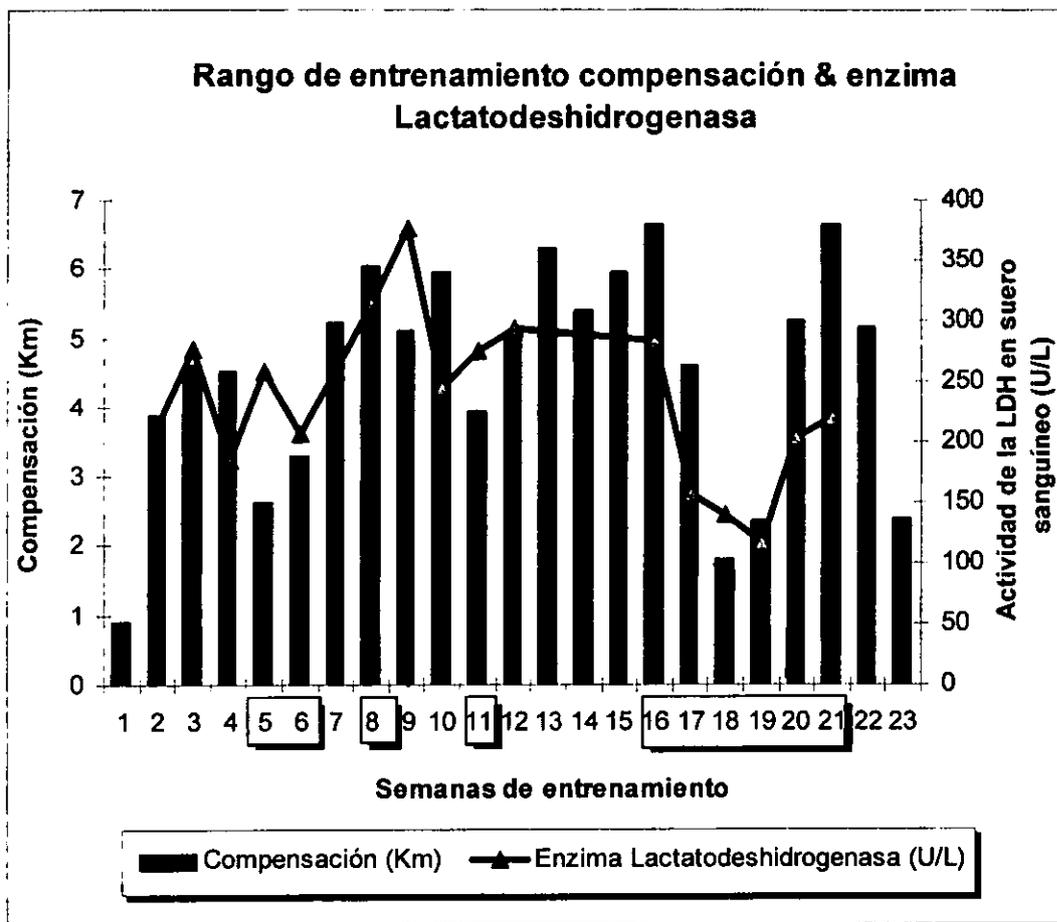


Figura 6. Curva que muestra el comportamiento de las variables de entrenamiento compensación y la actividad de la enzima Lactatodeshidrogenasa, durante el periodo de preparación general y específica para el nado continuo de 24 horas. Estas variables presentaron una asociación débil, $r_s = 0.572$ (con 90% de confiabilidad).

Urea

Las correlaciones obtenidas para este parámetro bioquímico fueron muy interesantes, ya que se encontraron relaciones significativas tanto positivas como negativas con diferentes rangos de entrenamiento. Con el trabajo aeróbico ligero se encontró una correlación negativa muy fuerte, donde $r_s = -0.8$, con una $p \leq 0.01$ (la H_0 fue rechazada con un 99% de confiabilidad); con los trabajos de fuerza ($r_s = 0.673$, $p \leq 0.05$) y carrera ($r_s = 0.722$, $p \leq 0.05$) estuvo correlacionada fuertemente y de manera positiva (la H_0 se rechazó con un 95% de confiabilidad); mientras que con los rangos de aeróbico medio ($r_s = -0.574$, $p \leq 0.1$) y con el volumen total ($r_s = -0.578$, $p \leq 0.1$) la correlación fue débil y de carácter negativa (la H_0 se rechazó con un 90% de confiabilidad).

En las figuras 7 y 8 se puede apreciar el comportamiento de la urea asociada a los tipos de entrenamiento de trabajo de fuerza y carrera respectivamente. En ambos casos se observa que si las cargas de entrenamiento se aumentan, la concentración de urea en sangre también aumenta. Sin embargo, para los rangos de entrenamiento AEL, AEM y volumen total sucede lo contrario, ya que en estos casos la concentración de urea disminuye cuando se aumentan las cargas en rango aeróbico ligero y medio (figuras 9 y 10).

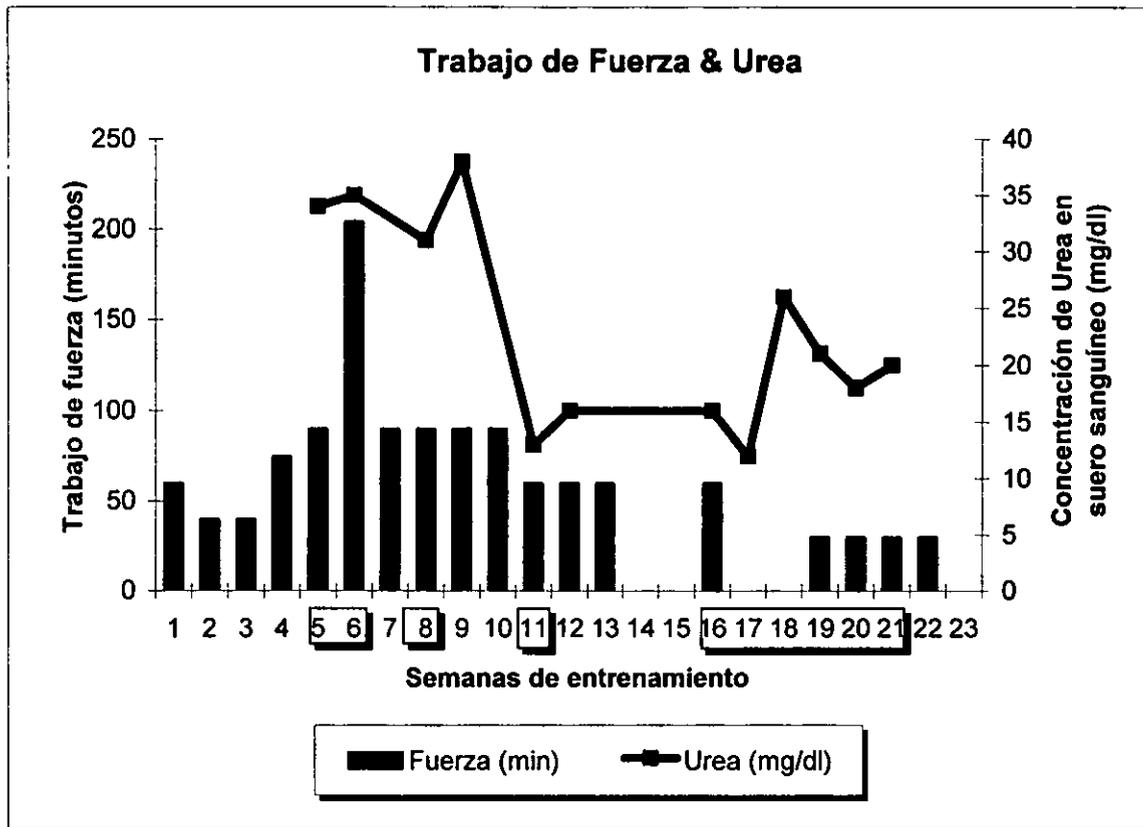


Figura 7. Curva del comportamiento de las variables entrenamiento trabajo de fuerza y urea, durante el periodo de preparación general y específica para el nado continuo de 24 horas. Estas variables presentaron una asociación fuerte, con un valor del $r_s = 0.673$ y $p \leq 0.05$ (95% de confiabilidad).

El nivel de urea en sangre también depende del buen funcionamiento de los riñones. Éstos órganos del aparato excretor son de gran importancia en la eliminación de productos de desecho, en la regulación osmótica y participan en la conservación del equilibrio ácido-básico normal del organismo reteniendo algunas sustancias y eliminando otras. Si estos importantes órganos presentasen algún problema como infecciones, la concentración de urea se puede elevar porque la eliminación de este componente desde la sangre puede ser tardía.

Por esta razón es importante conocer que no existan enfermedades renales en el deportista al que se le está llevando a cabo un seguimiento bioquímico, y así lograr una mejor interpretación de las variaciones de la concentración de urea en sangre como un indicativo del metabolismo proteico. Por lo regular, en los atletas que llevan muchos años de entrenamiento, sus riñones se han adaptado a funcionar con gran eficiencia.

Si en un individuo sano y con una dieta de proteínas balanceada, la concentración de urea en sangre aumenta, significa que hay mayor actividad de la catálisis de proteínas. En el caso de la nadadora, al observarse un aumento en la concentración de urea cuando hay aumento en las cargas del trabajo de fuerza y carrera, se interpreta que estos tipos de entrenamiento estimulan el aceleramiento del catabolismo proteico de la atleta. Por esta razón es importante prestar atención a entrenar este sistema.

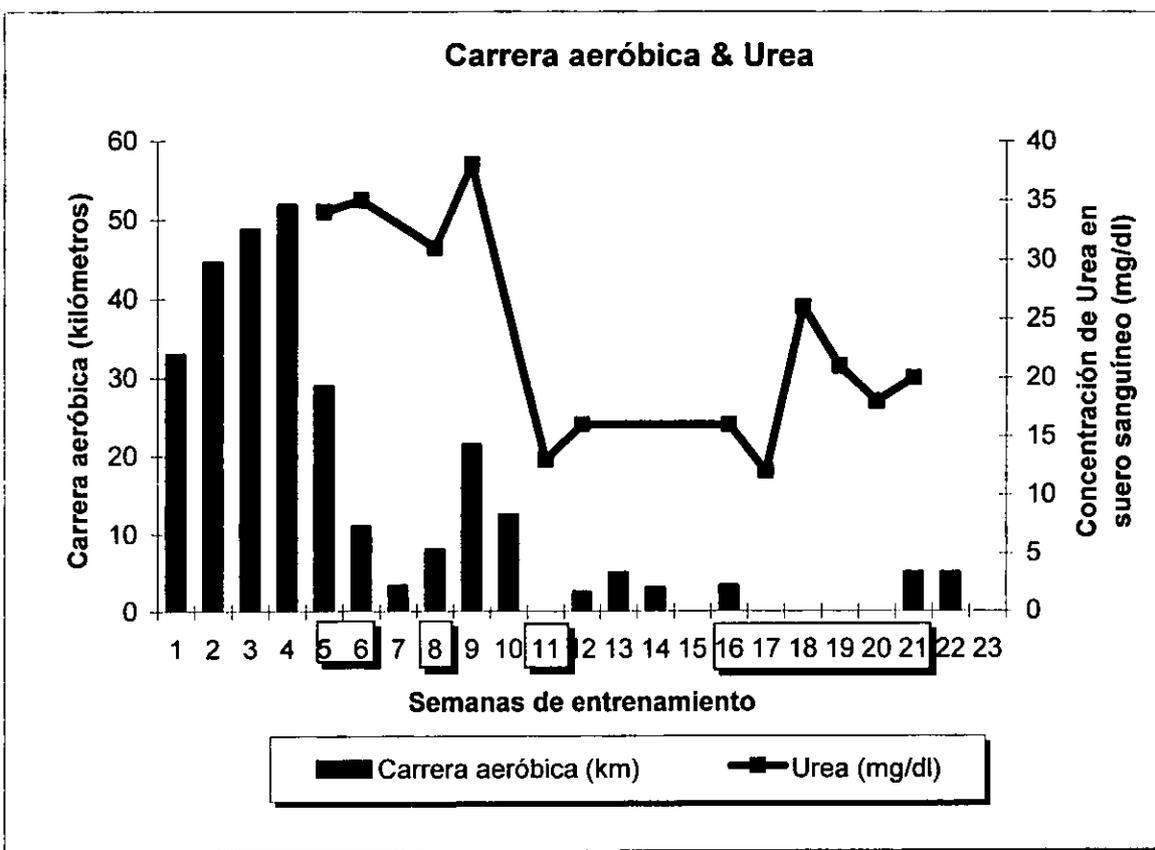


Figura 8. Curva que muestra el comportamiento de las variables de carrera y urea, durante el período de preparación general y específica para el nado continuo de 24 horas. Estas variables presentaron una asociación fuerte, con un valor de $r_s = 0.722$ y $p \leq 0.05$ (95% de confiabilidad).

En varias literaturas sobre bioquímica deportiva se hace mención de la influencia que tiene el trabajo intensivo en el aumento de la degradación de proteínas (Ponce, 1981; Zintl, 1991; entre otros). Como se comentó anteriormente, en el presente estudio se encontró una fuerte relación entre el aumento de urea (o sea, de la catálisis proteica) con la carrera y fuerza, ejercicios que representan cierto grado de trabajo de intensidad para la atleta, por lo que en este caso suponemos que las dos actividades influyeron en las

variaciones de urea, ya que ambas tuvieron un alto valor de r_s con una $p \leq 0.05$, sin embargo, es importante considerar otra posibilidad donde pudiera ser que solamente una de ellas sea el factor que tenga mayor influencia en la degradación de proteínas.

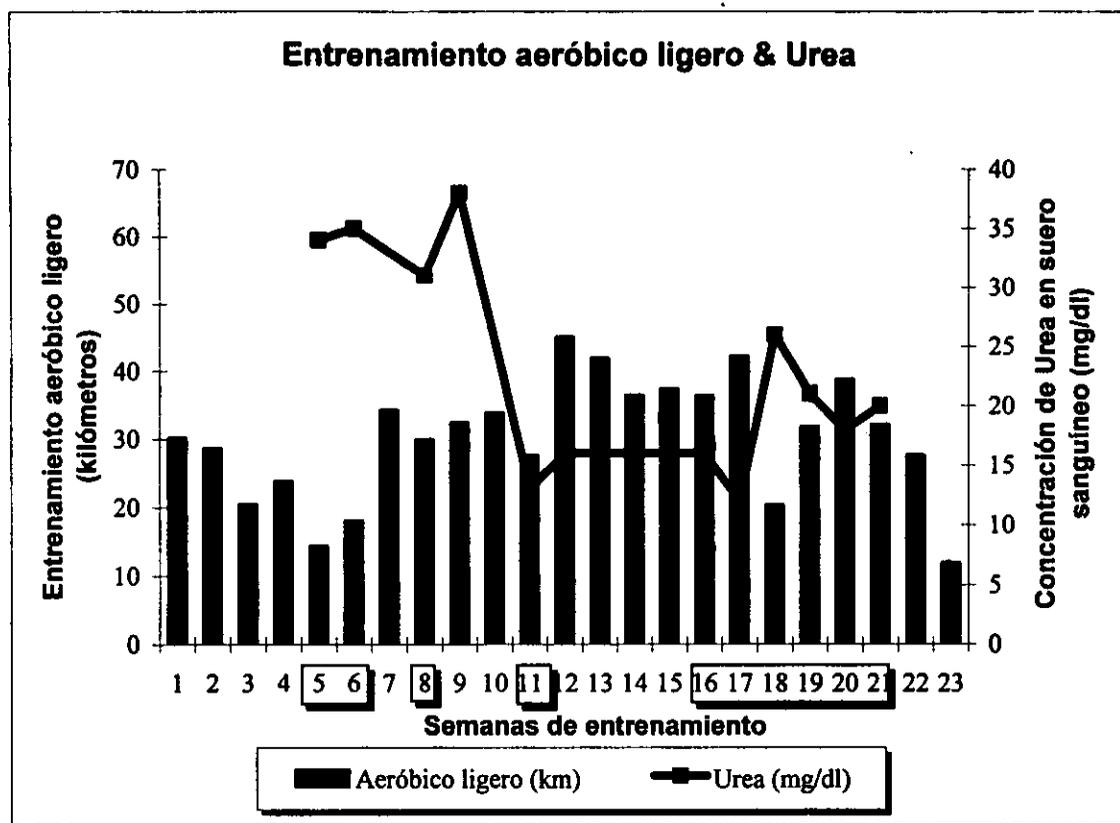


Figura 9. Curva que muestra el comportamiento de las variables entrenamiento de aeróbico ligero y la urea, durante el período de preparación general y específica para el nado continuo de 24 horas. Estas variables presentaron una muy fuerte correlación, con un valor de $r_s = -0.8$ y $p \leq 0.01$ (99% de confiabilidad).

En las figuras 9 y 10 se observa que al aumentar el kilometraje de trabajo aeróbico ligero y medio, la concentración de urea en sangre disminuye o ésta aumenta cuando se disminuyen estos rangos de entrenamiento.

La interpretación de la correlación negativa encontrada entre estas variables es evidente porque los rangos AEL y AEM, además de cumplir con la función de fortalecer la capacidad aeróbica general del organismo, desempeñan otras funciones fundamentales como la remoción de productos de desecho (recuperación) y de normalización del balance óptimo ácido-alcalino de la sangre (pH) a través de la activación periférica y la capilarización en los tejidos musculares (Thiess, 1985; Schramm, 1987). En este caso puede entenderse que la síntesis de proteínas, es decir, el anabolismo proteico es estimulado por los trabajos realizados en los rangos de entrenamiento aeróbico ligero y medio, como también por el volumen total de entrenamiento, aunque gran porcentaje de éste último está conformado principalmente por la suma de los rangos aeróbico ligero y medio.

Dado que el grado de correlación entre la urea y el AEL (entrenamiento de intensidad moderada) fue muy fuerte, y con el AEM (entrenamiento de intensidad media) la asociación fue débil, suponemos que la correlación depende en gran medida del ritmo de nado al que se realice el trabajo aeróbico: cuando mayor sea el grado de intensidad del nado, la tendencia hacia el catabolismo proteico será mayor que hacia la síntesis.

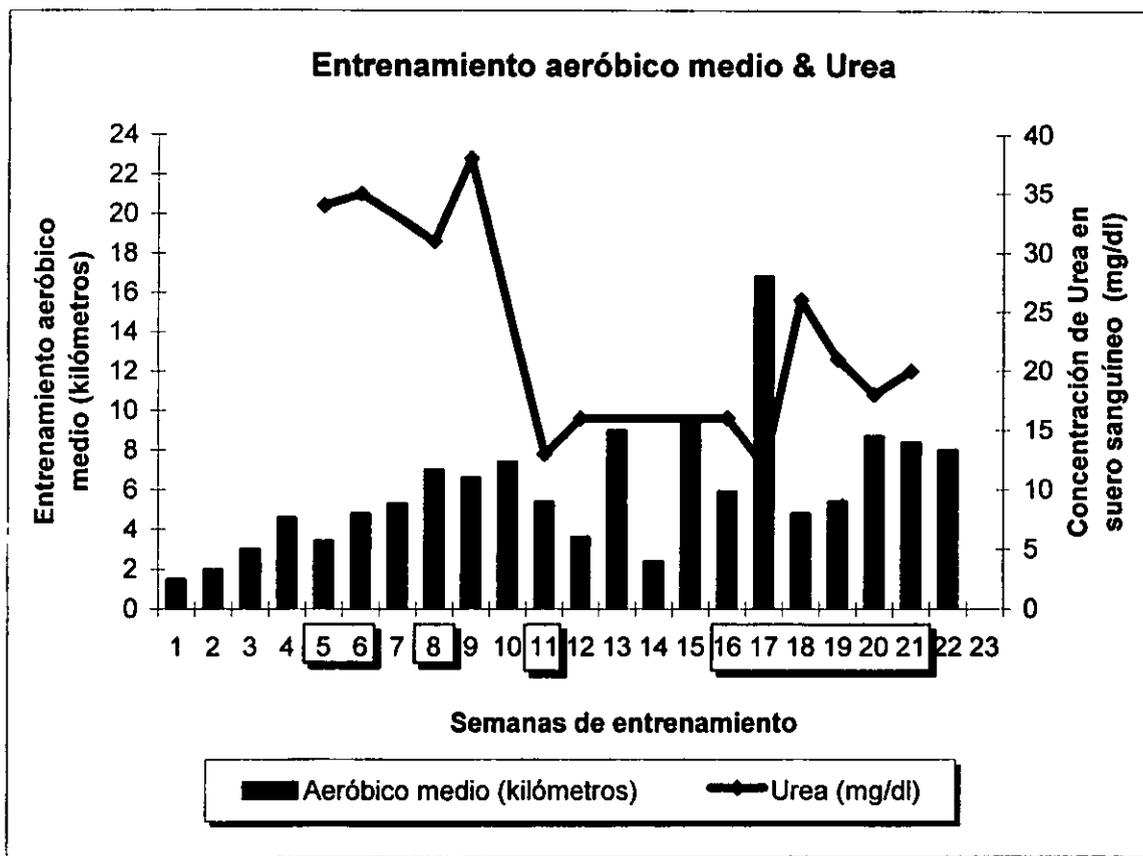


Figura 10. Curva que muestra el comportamiento de las variables entrenamiento de aeróbico medio y la urea, durante el periodo de preparación general y específica para el nado continuo de 24 horas. Estas variables presentaron una correlación débil, con un valor de $r_s = -0.574$ y $p \leq 0.1$ (90% de confiabilidad).

Por los anteriores resultados, se concluye que la urea es un componente sumamente importante para considerar dentro del seguimiento bioquímico de atletas que se preparan para determinado evento competitivo, ya que con el conocimiento del comportamiento de este parámetro, se puede determinar el grado de desgaste o cansancio del atleta, conociendo como se estimula el aceleramiento de su catabolismo proteico. Así también, permite conocer si las cargas de entrenamiento dentro de un microciclo han sido balanceadas adecuadamente.

El promedio de los niveles de urea en sangre de la nadadora a lo largo de todo el periodo de preparación fue de 23 mg/dl. Comparado con los valores de referencia en personas sedentarias que es entre 10-18 mg/dl, la atleta superó estos niveles. Pero sin llegar a límites de sobrecargas, donde después de niveles de 60-70 mg/dl pueden afectar el funcionamiento de los riñones y provocar la aparición de sangre en la orina, si el programa de entrenamiento no es ajustado en el momento en que se detecta este aumento (Ponce, 1981).

Relación CK/Urea

La proporción de la combinación de varios parámetros, nos puede brindar información más completa que cuando se tiene uno sólo aislado. Por lo que se decidió crear este nuevo parámetro experimental para conocer el comportamiento cuando se tienen varias variables asociadas. En este caso se eligieron la CK y Urea, ya que fueron de los parámetros bioquímicos más involucrados en varias correlaciones con los diferentes rangos de entrenamiento (con AEM, AEI; y con AEL, AEM, Fuerza y Carrera respectivamente).

La proporción CK/Urea, presentó una correlación muy fuerte con el trabajo AEM, con un $r_s=0.924$ y $p\leq 0.01$, donde la H_0 se rechazó con un 99% de confiabilidad. En la figura 11 se observa que a medida que se aumentan las cargas del trabajo AEM, la relación CK/Urea muestra también un notable aumento en su valor absoluto. También se encontraron correlaciones de esta relación con las variables AEL (asociación fuerte); y con AEI y volumen total (asociaciones débiles). De este hecho se interpreta que los tipos de entrenamiento en rango aeróbico tienen gran influencia en la estimulación de varios sistemas del metabolismo energético del organismo de la nadadora y principalmente el entrenamiento aeróbico medio.

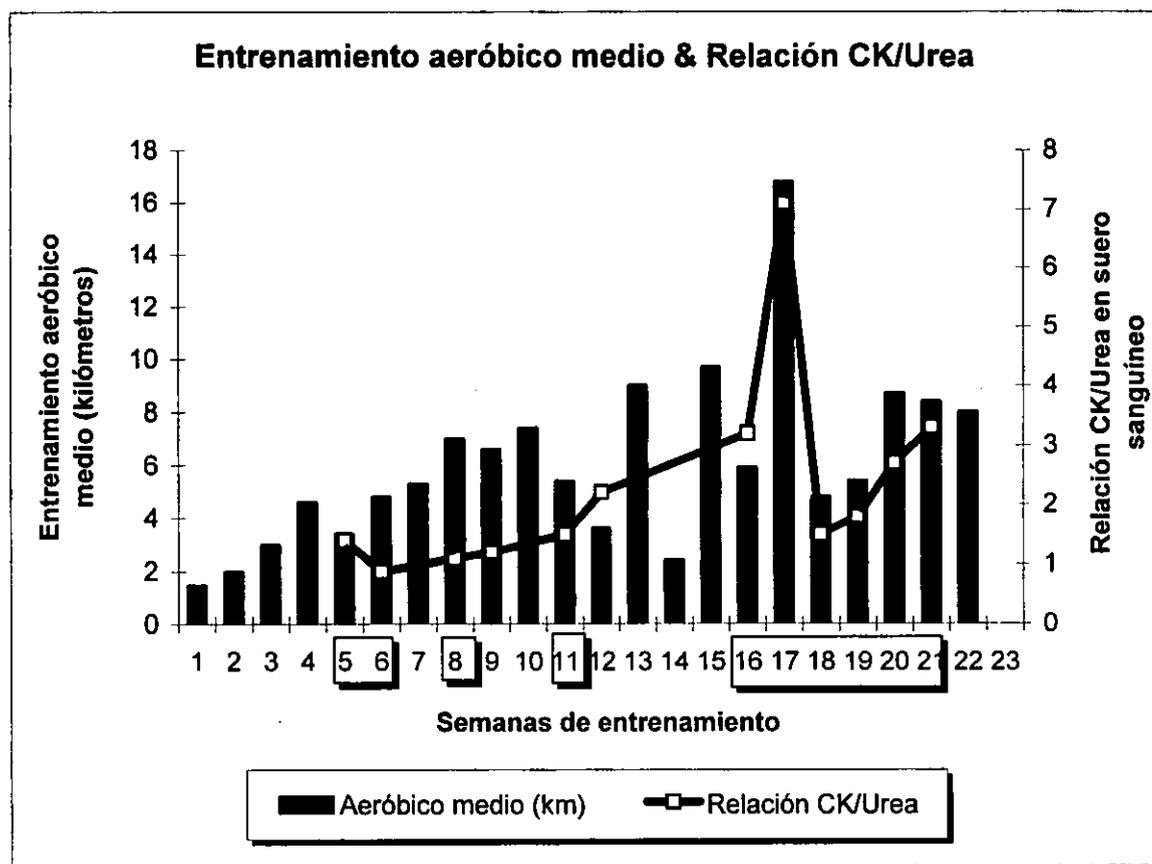


Figura 11. Curva que muestra el comportamiento de las variables entrenamiento de aeróbico medio y la relación CK/Urea, durante el periodo de preparación general y específica para el nado continuo de 24 horas. Estas variables presentaron una correlación muy fuerte, con un valor de $r_s=0.924$ y $p\leq 0.01$ (99% de confiabilidad).

En esta investigación se observó una tendencia de correlación negativa entre la CK y urea ($r_s = -0.39$). En otros estudios (*com. per.* Laboratorio de Bioquímica del Centro Nacional de Medicina y Ciencias Aplicadas al Deporte de la CONADE) se han reportan resultados similares, pero donde las variaciones de CK han sido mayores y se ha obtenido una alta correlación negativa entre ambos parámetros es decir, cuando aumenta la CK (aumento de permeabilidad en las membranas musculares) disminuyen los niveles de urea (disminución del catabolismo de las proteínas). "Por la experiencia de varios años de trabajo con atletas de alto rendimiento (*com. per.* A. Kormanovsky), se puede inferir que la disminución de CK y el aumento de urea en suero sanguíneo puede mostrar falta de recuperación en los atletas, mientras que cuando los niveles de CK se elevan y la urea disminuye ellos se sienten mejor subjetivamente". Por lo anterior, la relación CK/Urea puede ser un parámetro que brinde información importante para el análisis y control del entrenamiento de los deportistas.

Colesterol Total

No se encontraron relaciones significativas entre este parámetro bioquímico y los diferentes rangos de entrenamiento, de este hecho se interpretó que para el caso de la atleta en estudio, las modificaciones del colesterol total en sangre fueron independientes a las variaciones de cargas de los diversos rangos de entrenamiento.

Colesterol de Alta Densidad (HDL)

Este componente sanguíneo presentó correlaciones significativas de manera débil y positiva con el volumen total de entrenamiento con un $r_s = 0.559$ y $p \leq 0.1$ (donde la H_0 se rechazó con un 90% de confiabilidad) y también se correlacionó débil y negativamente con el trabajo de fuerza, $r_s = -0.588$, $p \leq 0.1$ (la H_0 se rechazó con un 90% de confiabilidad).

En la figura 12 se observa que cuando aumentan los volúmenes totales de entrenamiento aumenta también la concentración del colesterol de lipoproteínas de alta densidad. Muchas citas en la literatura de difusión, reconocen al colesterol de alta densidad (HDL) como el buen colesterol porque las lipoproteínas de alta densidad cumplen con la función de transportar el colesterol hacia fuera de los tejidos, disminuyendo así el riesgo de aterosclerosis. Por lo regular, el entrenamiento de resistencia aeróbica aumenta el colesterol de alta densidad como se observa en nuestra correlación y disminuye así el riesgo de aterosclerosis.

En la figura 13 se muestra la correlación entre el trabajo de fuerza y las HDL. En general se observa una tendencia a la disminución de las lipoproteínas de alta densidad conforme se aumenta el trabajo de fuerza y viceversa. Este rango de entrenamiento se caracteriza por actuar en contra de una resistencia externa por un período relativamente corto y de alta intensidad (esfuerzo anaeróbico), por lo que se interpreta que el trabajo realizado en altas intensidades y predominantemente anaeróbico, provoca la disminución de las HDL y a larga también puede existir un mayor riesgo de aterosclerosis. Por esta razón es sumamente importante monitorear este componente sanguíneo durante un programa de entrenamiento, principalmente en atletas que llevan a cabo grandes cargas en rangos intensivos e inclusive en personas que se inician a la práctica deportiva.

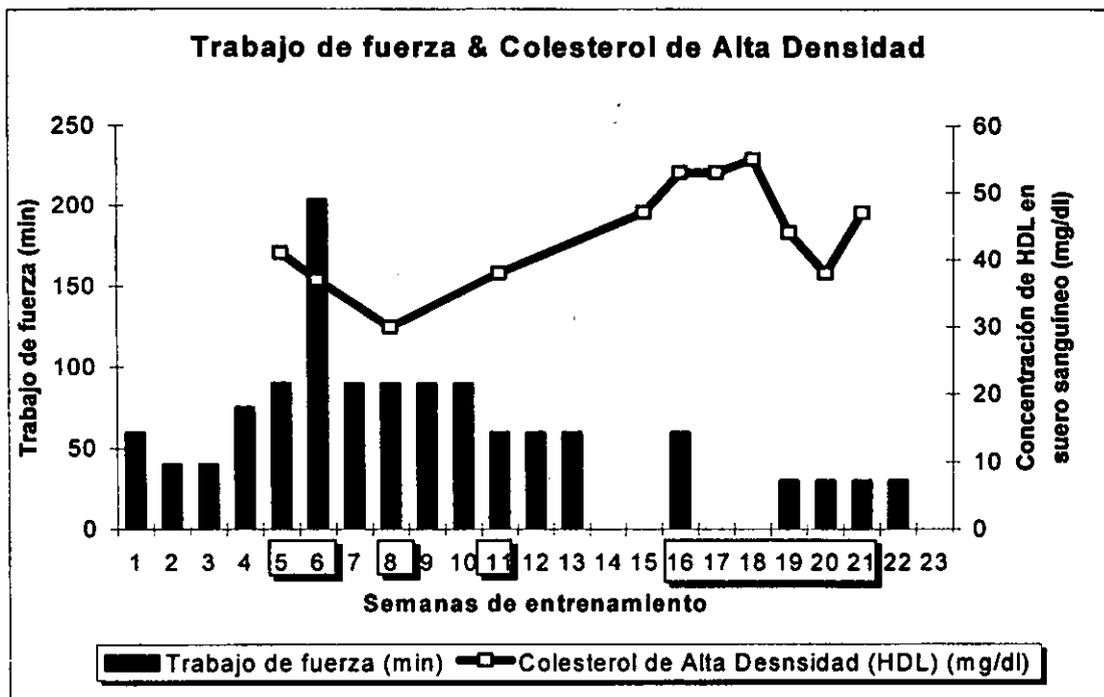


Figura 12. Curva que muestra el comportamiento de las variables volumen total de entrenamiento y el Colesterol de Alta Densidad (HDL) durante el periodo de preparación general y específica para el nado continuo de 24 horas. Estas variables están correlacionadas débil y positivamente ($r_s=0.559$, $p \leq 0.1$).

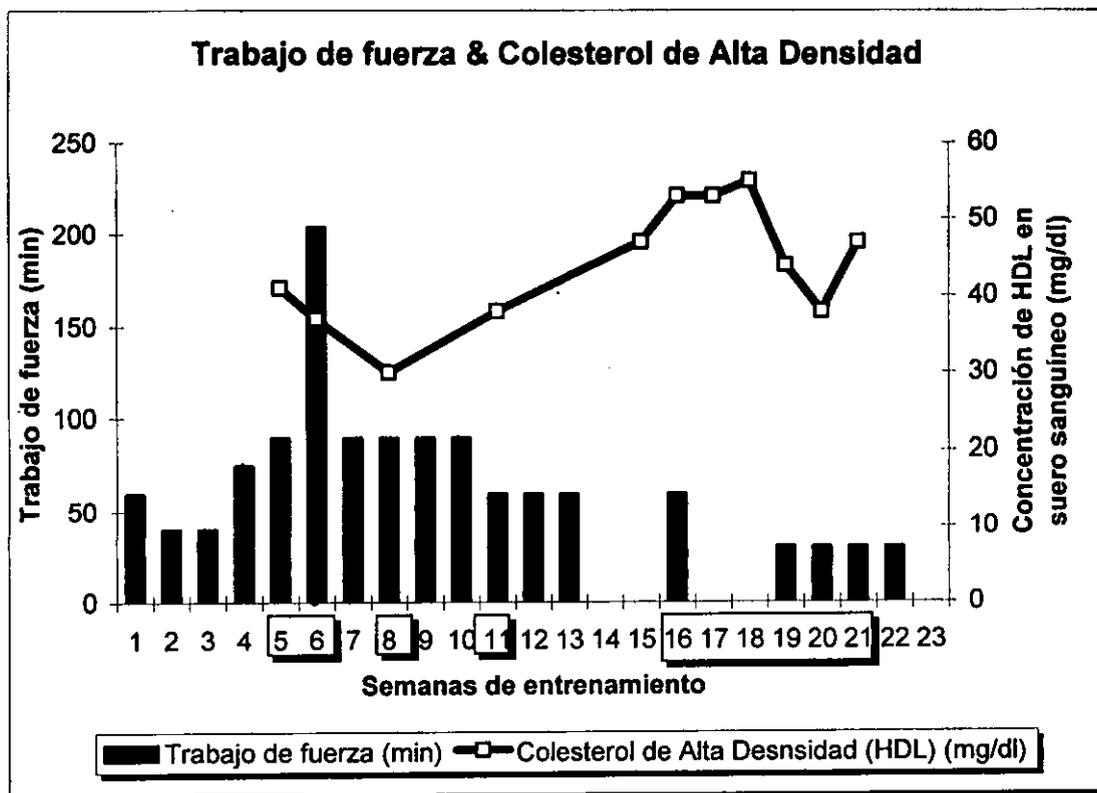


Figura 13. Curva que muestra el comportamiento de las variables trabajo de fuerza y el Colesterol de Alta Densidad (HDL) durante el periodo de preparación general y específica para el nado continuo de 24 horas, estas variables se correlacionaron débil y negativamente ($r_s=-0.588$, $p \leq 0.01$).

Colesterol de Baja y Muy Baja Densidad (LDL y VLDL)

No se encontraron relaciones significativas entre este parámetro bioquímico y los diferentes rangos de entrenamiento, por lo que se puede interpretar que para el caso de la atleta en estudio, las modificaciones de LDL y VLDL en sangre fueron independientes a las variaciones de cargas de los diversos rangos de entrenamiento.

Coefficiente de Aterosclerosis

No se encontraron relaciones significativas entre este parámetro bioquímico y los diferentes rangos de entrenamiento, por lo que se puede interpretar que para el caso de la atleta en estudio, el coeficiente de aterosclerosis fue independiente a las cargas de los diversos rangos de entrenamiento.

Hemoglobina

Los coeficientes de correlación de Spearman calculados para este parámetro bioquímico asociado a los diferentes rangos de entrenamiento fueron muy bajos y solamente se encontraron dos correlaciones significativas y de carácter débil en ambos casos. La primera asociación fue con el rango aeróbico ligero con un valor de $r_s=0.621$ y $p \leq 0.1$ (la H_0 se rechazó con un 90% de confiabilidad); la segunda asociación hallada fue con la carrera con un valor de $r_s=-0.654$ y $p \leq 0.1$ (la H_0 también se rechazó con un 90% de confiabilidad).

Es difícil hacer una interpretación certera de estos resultados, ya que los datos que se obtuvieron de la hemoglobina fueron escasos [$n=8$] y éstos no representaron todo el período de preparación general y específico, sino que solamente se tuvieron mediciones del inicio de la temporada, en el cual aún no había mucho trabajo y como ya se mencionó, en este lapso de tiempo es cuando el organismo muchas veces presenta un estado de inestabilidad, mientras éste se adapta al proceso de entrenamiento.

Sin embargo, se pueden hacer algunos análisis de lo obtenido y comparar algunos datos con los que se tenía de anteriores estudios hechos a la misma nadadora, donde se encontró que en el año 1995, cuando la atleta se preparó para la competencia del Maratón de Manhattan, ella presentaba una tendencia negativa entre la Hemoglobina y el Volumen Total de Entrenamiento (Centro Nacional de Medicina y Ciencias Aplicadas al Deporte de la CONADE, 1995). Por lo contrario a lo encontrado en este año, donde la tendencia entre estas mismas variables fue positiva ($r_s=0.528$).

Esto se puede deber a que la preparación para la competencia de Manhattan se enfocó a dominar un ritmo de nado más rápido (mayor intensidad), ya que se trataba de una competición que implicaba nadar menor distancia pero a mayor velocidad. A comparación del evento de 24 horas que se caracterizó por ser un nado muy prolongado y de menor ritmo. Las diferencias de los ritmos de nado entre la preparación para Manhattan y las 24 horas fueron que en el trabajo aeróbico ligero el paso era de 1'35" por cada 100 metros (Manhattan) y para las 24 horas era de 1'40" por cada 100 metros. En el trabajo aeróbico medio el paso fue de 1'30" en el caso de Manhattan y para las 24 horas de 1'35" por cada 100 metros.

Lo anterior puede sugerirnos que la asociación existente entre la hemoglobina y el volumen total de entrenamiento este dependiendo en gran medida de la intensidad con que el atleta realice sus prácticas deportivas, entre mayor sea la intensidad, la correlación tiende a cambiar de positiva a negativa. Por ejemplo, en el rango de entrenamiento aeróbico ligero (intensidad moderada) la correlación encontrada fue positiva (ver figura 14), por el contrario a la carrera realizada por la atleta que se caracterizó por tener una intensidad mediana de esfuerzo y la correlación encontrada fue negativa.

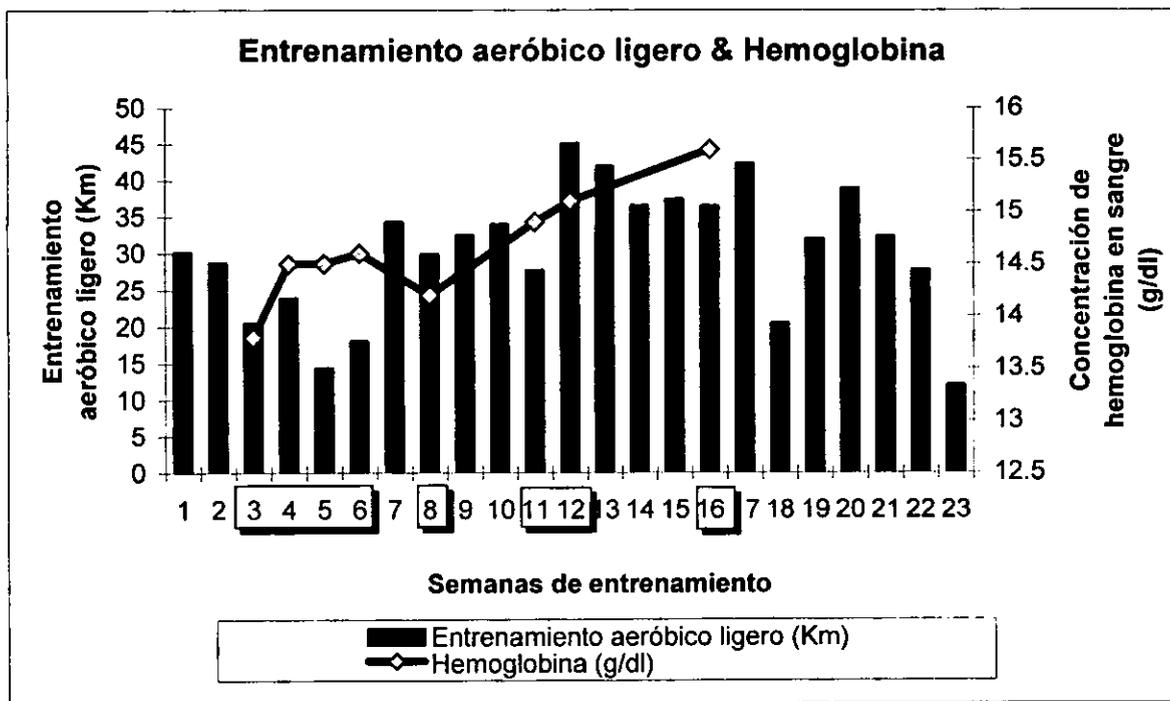


Figura 14. Curva que muestra el comportamiento de las variables aeróbico ligero y hemoglobina durante el inicio de la temporada de preparación para las 24 horas de nado continuo, enero a abril de 1996. El valor de $r_s=0.621$ con una $p \leq 0.1$ (la H_0 se rechazó con un 90% de confiabilidad).

Es importante hacer mención que de estos resultados se desprende la gran relevancia que tiene el llevar un seguimiento y control de las variaciones de Hemoglobina en sangre de atletas que se ven sometidos a trabajar grandes cargas de volúmenes e intensidades, sobre todo cuando el comportamiento de la correlación entre los parámetros tiende a ser negativa, ya que de esta manera se pueden llegar a detectar posibles anemias deportivas, cuando los niveles de hemoglobina en sangre se reducen notablemente debido a las grandes cargas de entrenamiento trabajadas y entonces poder actuar con medidas preventivas.

Análisis bioquímicos antes, durante y después de las pruebas de 12 y 24 horas de nado continuo

Glucosa, Triglicéridos y Urea

Las variaciones de los parámetros bioquímicos glucosa, triglicéridos y urea fueron estudiados durante las pruebas de nado continuo por ser los mejores indicadores del funcionamiento de las diferentes vías metabólicas que intervienen de manera alternada para garantizar el aporte de energía durante el ejercicio físico (Ponce, 1981; Lenhinger, 1985) es decir, los metabolitos de carbohidratos, lípidos y proteínas, respectivamente.

En la figura 15 se muestran las curvas del comportamiento de glucosa, triglicéridos y urea a lo largo del desarrollo de la prueba de 12 horas. Las cuales se describen a continuación:

Glucosa: durante las dos primeras horas, se observó un aumento de 82 hasta 104 mg/dl (21.1%) debido a la intensa movilización del glucógeno en sus depósitos (hígado y músculos) al inicio del ejercicio. Entre la segunda y octava hora de nado, se presentó un cambio desde 104 hasta 76 mg/dl (26.9%), lo que significó un consumo rápido de glucosa relacionado con los procesos oxidativos de carbohidratos, para el aseguramiento energético. Después del octavo intervalo, subió la concentración de la glucosa hasta niveles de 104-118 mg/dl, lo que refleja un nuevo momento de movilización de glucosa.

Triglicéridos: aumentan su concentración durante la primera hora de nado desde 114 hasta 157 mg/dl (37.7%) debido a la movilización de estos compuestos en depósitos de reserva. En las siguientes horas de nado y hasta la octava, sucedió una paulatina disminución de sus niveles en sangre, desde 157 hasta 96 mg/dl (38.8%), lo que reflejó un consumo rápido de triglicéridos. En los últimos 4 intervalos hubo un aumento en la concentración de este parámetro, desde 100 hasta 122 mg/dl (22%) indicando nuevamente una movilización en el metabolismo de lípidos.

Urea: se presentó un sistemático aumento de urea entre la cuarta y décima hora de nado, desde 20 hasta 70 mg/dl (71.4%), que reflejó una destrucción rápida de las proteínas provenientes del organismo del atleta. Es notable que el aumento de la urea coincidió con la disminución de los dos principales substratos energéticos (glucosa y triglicéridos), es decir, que se comenzó la utilización de las proteínas como fuente de energía.

La figura 16 muestra las curvas del comportamiento de glucosa, triglicéridos y urea a lo largo del desarrollo de la prueba de 24 horas de nado continuo. Desde la primera hora y hasta la 13 se observó una gran versatilidad de los metabolitos energéticos de la atleta que se comportaron de manera alterna, es decir, cuando la glucosa era utilizada como sustrato energético (bajos niveles en sangre de este componente), los lípidos eran movilizados en sus depósitos de reserva, por lo que aumentaba su concentración y viceversa, cuando los niveles de triglicéridos fueron bajos (utilización), la concentración de glucosa se elevó (movilización).

A partir de la hora 14, ambos parámetros bioquímicos empezaron a decaer en su concentración, situación que se mantuvo hasta el final de la prueba, sin presentarse alguna recuperación. En la curva de los triglicéridos se vio una caída más drástica que en la de glucosa; lo que nos permite formular la hipótesis de que después de varias horas de ejercicio prolongado (ultra-resistencia tipo IV), la nadadora obtuvo el mayor aporte energético a través de la degradación de lípidos. Esta situación se reflejó en el rendimiento, ya que causalmente, a partir de la 14a. hora, se presentó paralelamente una caída en el ritmo de nado (figura 27).

Glucosa: en las primeras seis horas de nado hubo notable movilización de la glucosa que ascendió desde 122 hasta 152 mg/dl (24.5%). Después de la sexta hora se empezó a notar un descenso en la concentración y hasta el término de la prueba no se observó recuperación de este parámetro.

Triglicéridos: la concentración inicial de los triglicéridos antes del evento estuvo mucho menor que cuando se inició la prueba de 12 horas (dos veces menor: 50 mg/dl contra 114 mg/dl). El proceso de movilización se vio retardado, ya que comenzó después de la sexta hora, cuando se notó un aumento, desde 38 hasta 59 mg/dl a la hora trece. A partir de entonces, empezó a disminuir paulatinamente hasta 34.5 mg/dl al momento de finalizar la prueba.

Urea: el comportamiento de este componente fue inverso a la glucosa y triglicéridos, su concentración fue en aumento conforme las horas de nado y el cansancio se acumularon.

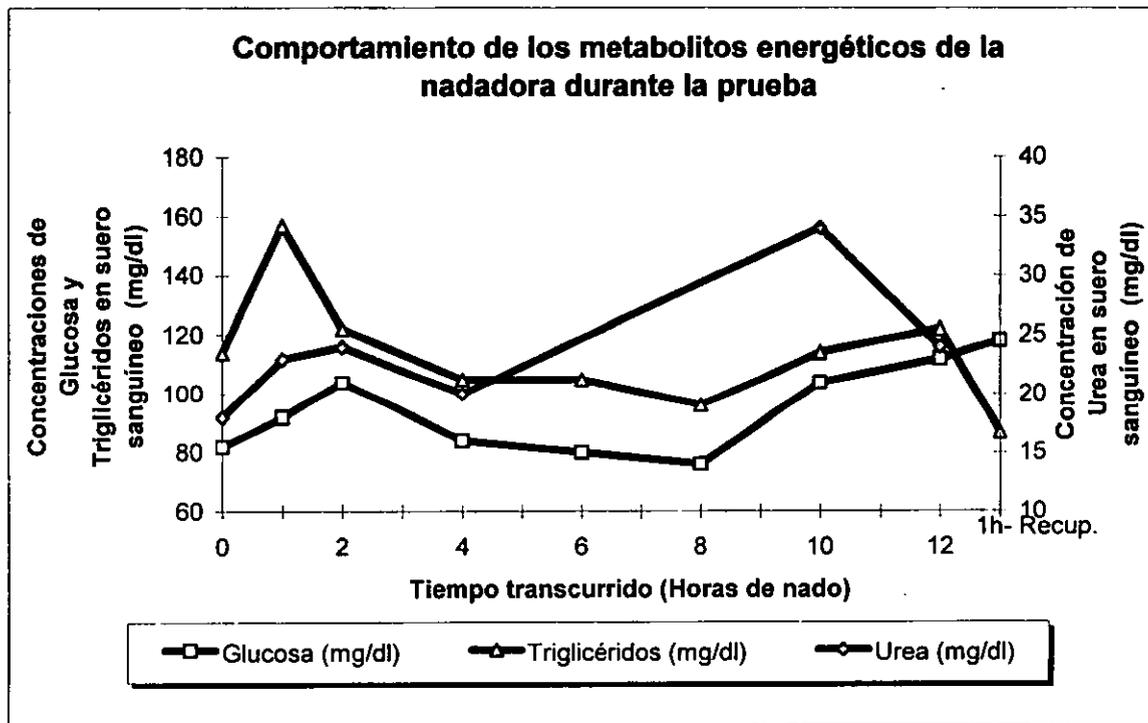


Figura 15 Curva del comportamiento de los metabolitos energéticos de la nadadora durante la prueba de 12 horas de nado continuo en alberca semiolímpica, Cancún, Q. Roo. 4 de Mayo de 1996.

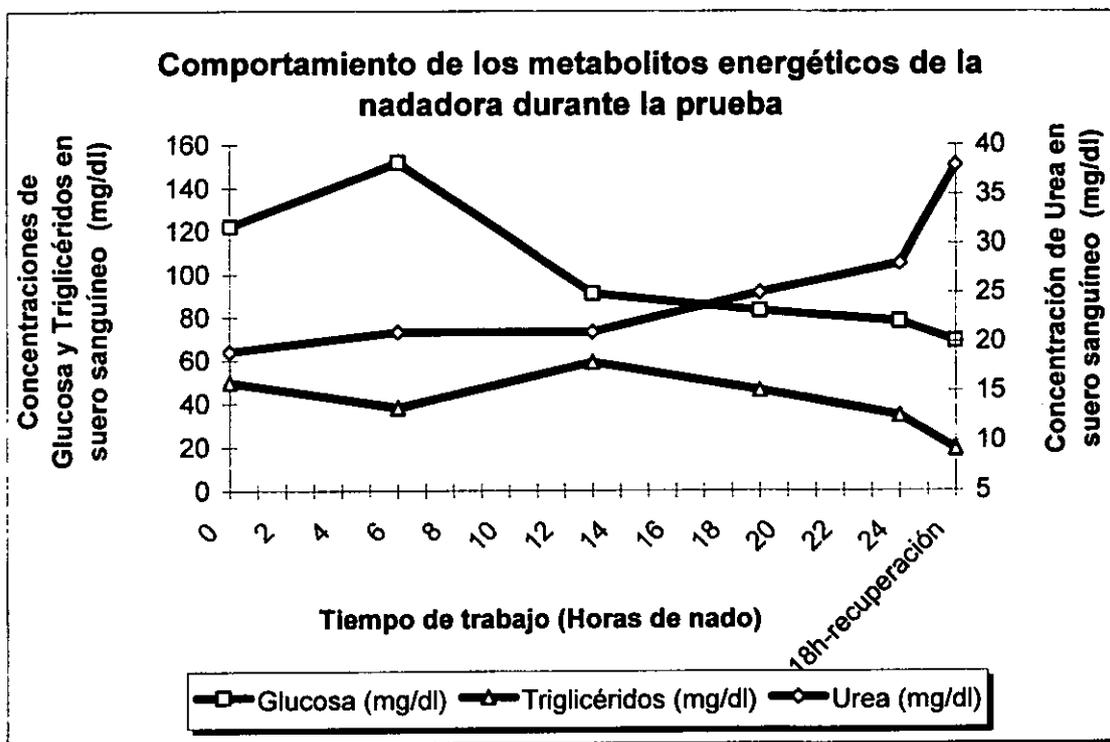


Figura 16. Curva del comportamiento de los metabolitos energéticos de la nadadora durante la prueba de 24 horas de nado continuo en alberca semiolímpica, Cancún, Q. Roo. 7-8 de junio de 1996.

Los resultados de la prueba de 12 horas nos indicaron que a la nadadora le hizo falta un mayor aporte de carbohidratos, proteínas y grasas, para evitar cambios tan drásticos en la movilización de las reservas. Estos estudios permitieron percatarnos que es necesario incrementar la cantidad de carbohidratos en las bebidas, así como aportar algún producto que contenga concentrado de proteínas para evitar la aceleración del catabolismo proteico y la atleta cuente con una alimentación más balanceada durante su nado. Así mismo, se detectó una falla en la alimentación previa al evento de 24 horas, por la sobrecarga de carbohidratos que ocasionó una baja en la concentración de triglicéridos en sangre al inicio de la prueba, lo que no es muy favorable para este tipo de pruebas, donde los principales substratos energéticos además de carbohidratos, los son las grasas y las proteínas (Zintl, 1991).

Creatincinasa

Tanto en la prueba de 12 horas como en la de 24 horas se observó un notable aumento en la actividad de la enzima Creatincinasa en sangre conforme se incrementó el tiempo de nado. Esto nos permite suponer que la permeabilidad de las membranas de las células musculares estuvo aumentando durante el desarrollo de las pruebas.

En la prueba de 12 horas, la actividad inicial de la CK fue de 20 U/L, la cual se fue incrementando paulatinamente hasta el término del nado, cuando se registró una actividad de 149 U/L. Después de 1 hora de recuperación, se observó que todavía hubo un ligero aumento hasta 156 U/L, figura 17.

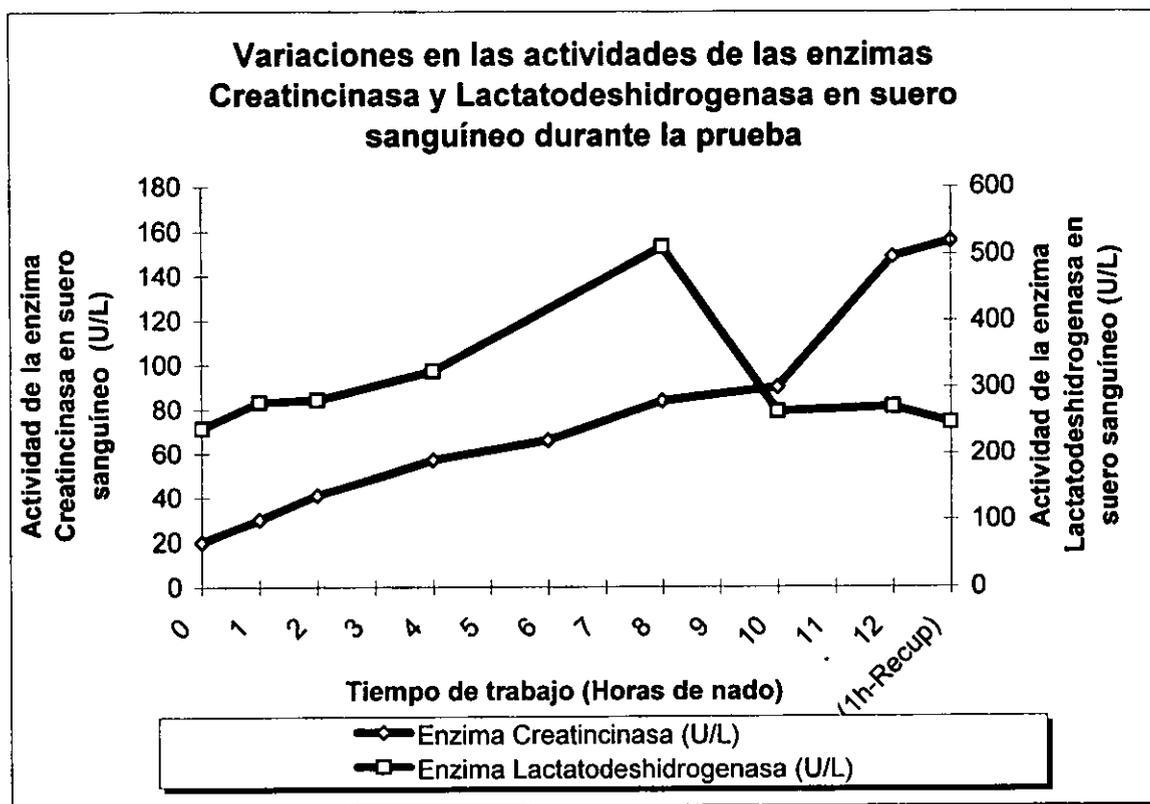


Figura 17. Curva de comportamiento de las enzimas CK y LDH durante la prueba de 12 horas de nado continuo en alberca semiolímpica, Cancún, Q. Roo. 4 de Mayo de 1996.

Durante la prueba de 24 horas el comportamiento de la actividad enzimática de la CK fue similar, aunque en un inicio los niveles de la CK en sangre fueron mayores (32 U/L) que a los que presentaba la atleta en el inicio de la prueba de 12 horas (20 U/L). Posteriormente, conforme fueron aumentando las horas de nado la CK se incrementó hasta 411 U/L al final del evento (valor similar al que se podría obtener de extrapolar a 24 horas en la curva del comportamiento de la CK durante la prueba de 12 horas). Después de 18 horas de recuperación se registró una notable reducción de la CK hasta niveles de 183 U/L. Véase figura 18.

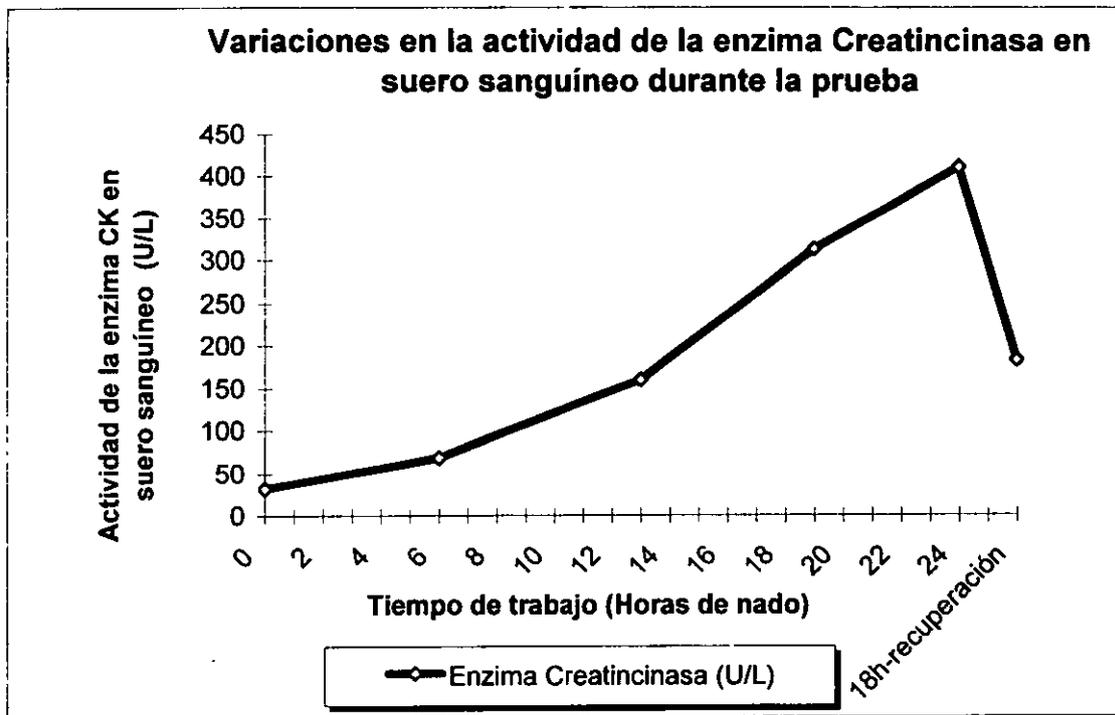


Figura 18. Curva de comportamiento de la enzima CK durante la prueba de 24 horas de nado continuo en alberca semiolímpica, Cancún, Q. Roo. 7-8 de junio de 1996.

En ambas pruebas la nadadora rebasó sus propios niveles registrados durante el seguimiento que se le llevó en el periodo de preparación (valor promedio 45.7 U/L y un máximo de 85 U/L). En la prueba de 12 horas Rebasó por casi 2 veces sus propios niveles y en la de 24 fue de 4.8 veces más. Esto nos refleja la capacidad de adaptación del organismo entrenado a grandes esfuerzos. Y el papel tan importante que desempeña las membranas de los tejidos y en específico el muscular, para tener un eficiente intercambio de materia entre los tejidos y la sangre durante la realización de ejercicio.

Lactatodeshidrogenasa

En la figura 17, para la prueba de 12 horas, también se muestra la curva del comportamiento de la enzima LDH, en la que inicialmente se observa un aumento en su actividad, desde 238 U/L hasta 511 U/L en la octava hora, los siguientes lapsos empezaron a descender hasta 271 U/L registrado al final de la prueba; y después de 1 hora de recuperación, se obtuvieron 247 U/L.

Podemos suponer que el aumento de la LDH en las primeras horas de nado estuvo relacionado con la baja de las principales fuentes de energía como carbohidratos y lípidos y lo que provocó mayor tensión en los tejidos. Posterior a la octava hora de nado

se observa nuevamente un descenso de la actividad de la LDH, probablemente asociado a que el organismo se fue adaptando a esta situación, por otro lado, este aumento coincide con un nuevo incremento de las fuentes energéticas (ver figura 15). Un reflejo de esta situación por la tensión de tejidos, que llega a su pico en la octava hora, probablemente repercutió en el ritmo de nado de la deportista, el cual denota una baja de velocidad en esos momentos (véase figura 26).

Por otra parte, después de la 8a. hora se evidencia una tendencia a la disminución de la LDH cuando sube la actividad de la CK, lo que sugiere que hay mayor actividad el tejido muscular y menor tensión en los otros tejidos en general.

En el caso de esta enzima, también se rebasaron en casi un 100% los niveles presentados en la atleta durante el periodo de preparación general, donde se tuvieron registros de 313 U/L como valor máximo y un promedio de 217.4 U/L, comparado con las 511 U/L del valor máximo obtenido en la prueba de 12 horas.

Para la prueba de 24 horas no se logró conseguir suficiente muestra de sangre que alcanzará para el análisis de este parámetro, y así poder hacer una comparación de los comportamientos de la LDH en ambas pruebas.

Ácido Láctico

La curva del comportamiento del ácido láctico durante la prueba de 12 horas se muestra en la figura 19, en ella se ven que las variaciones más notables en la concentración del lactato en sangre se dieron durante la primera hora, que fueron desde 1.3 mmol/l hasta 4.5 mmol/l, en los lapsos posteriores se observa una estabilización de este parámetro entre 3.5 y 3 mmol/l.

De las observaciones que se desprenden de este hecho, primeramente podemos decir que la atleta inició la prueba con un bajo nivel de acidosis muscular, es decir que tenía muy poca cantidad de ácido láctico acumulado en los músculos, lo que permitió una mejor disposición del organismo de la nadadora para enfrentar este esfuerzo.

Por otra parte, podemos decir que la prueba llevada a cabo por la atleta se caracterizó por ser un trabajo de resistencia de larga duración tipo III y IV (según la clasificación de Newman) donde predominó en gran medida la vía energética aeróbica y donde la producción de lactato estuvo entre 3-4.5 mmol/l. La nadadora se mantuvo en un rango de economía, muy cercano a su umbral, pero sin llegar a rebasarlo y provocar así una deuda de oxígeno, es decir, un trabajo de tipo anaeróbico.

También fue notable el hecho de que después del aumento del lactato durante la primera hora de nado, en las posteriores, la curva casi se estabiliza sugiriéndonos esto que el organismo se fue adaptando al esfuerzo. Se observó una muy ligera tendencia a disminuir la concentración de lactato a partir de la cuarta hora, lo que podría interpretarse como un indicio del proceso de remoción de productos de desecho durante la actividad, a través del trabajo aeróbico ligero y medio.

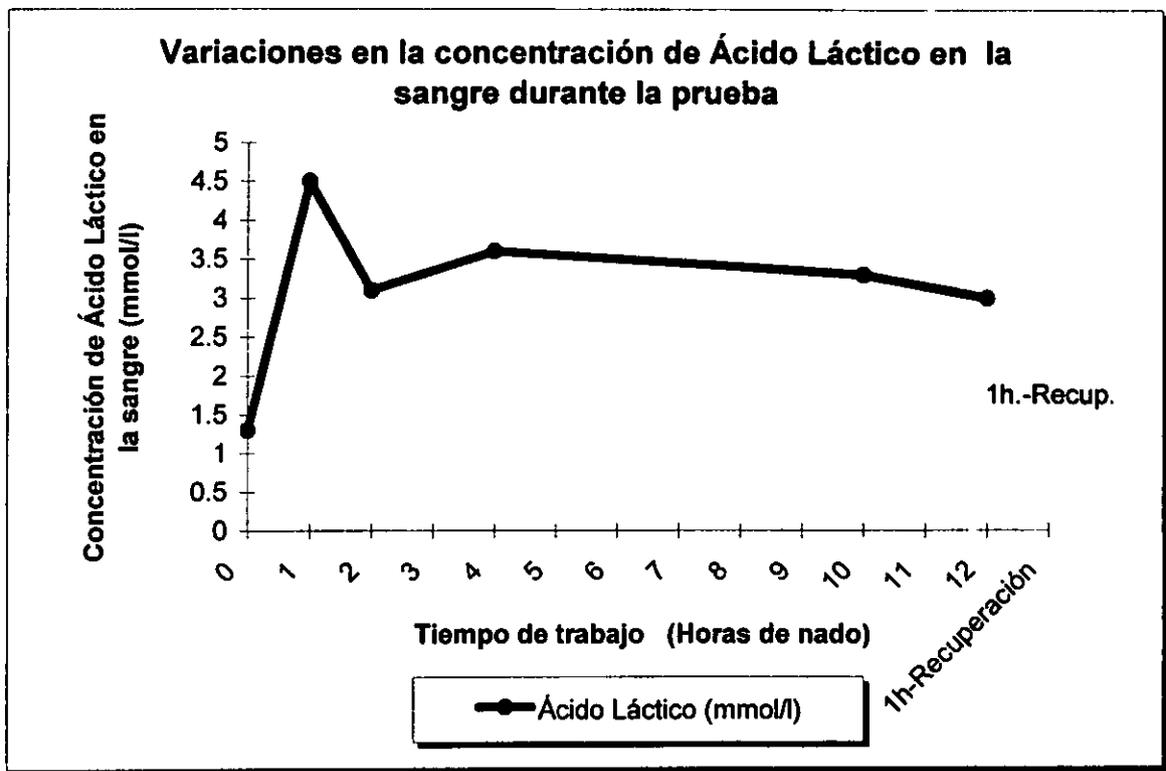


Figura 19. Curva de comportamiento del Ácido Láctico durante la prueba de 12 horas de nado continuo en alberca semiolímpica, Cancún, Q. Roo. 4 de mayo de 1996.

Colesterol Total

Las variaciones en la concentración del Colesterol Total en sangre durante la prueba de 12 y 24 horas presentaron caídas drásticas principalmente en las últimas horas de nado, en ambas pruebas se observó una fuerte tendencia a la disminución del Colesterol Total conforme aumentan el tiempo de ejercicio (figuras 20 y 21 respectivamente).

Como se hace mención en el análisis del comportamiento del coeficiente de arteriosclerosis, el trabajo de resistencia de larga duración, predominantemente aeróbica, influye en el metabolismo de los lípidos con la movilización y utilización de estas biomoléculas combustibles; ya que en este tipo de esfuerzos prolongados y relativamente en una intensidad ligera a media, los principales substratos energéticos son las grasas, el glucógeno y las proteínas (Zintl, 1991).

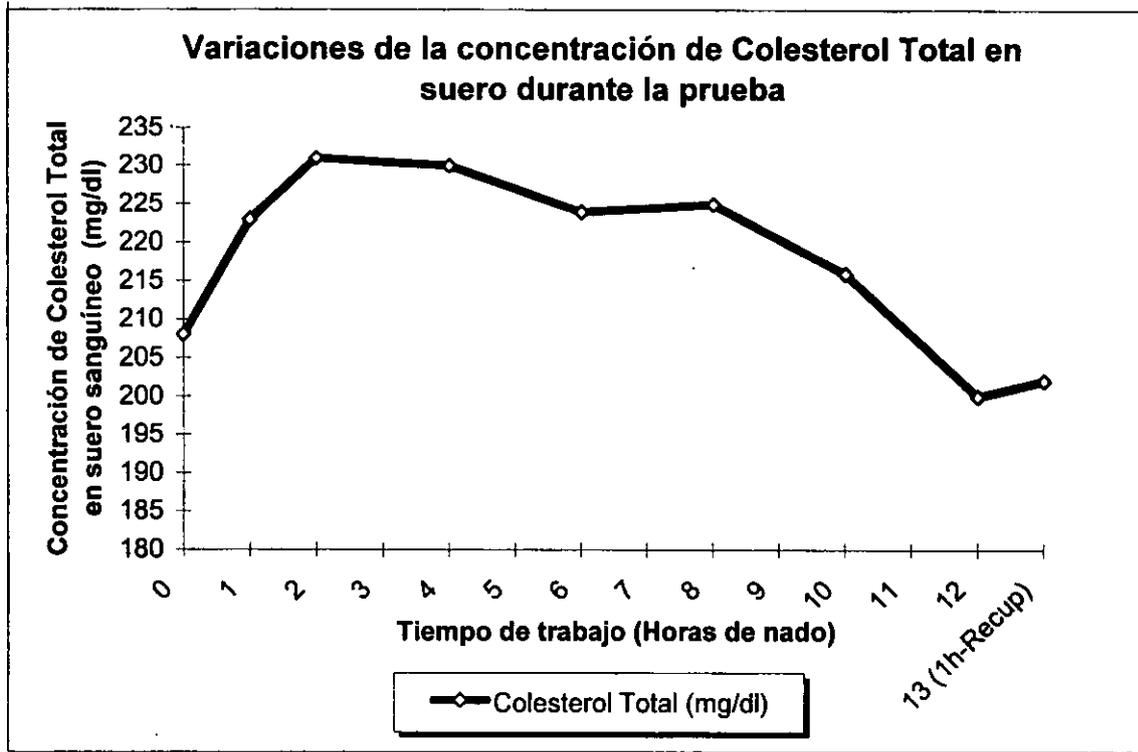


Figura 20. Curva de comportamiento del Colesterol Total durante la prueba de 12 horas de nado continuo en alberca semiolímpica, Cancún, Q. Roo. 4 de Mayo de 1996.

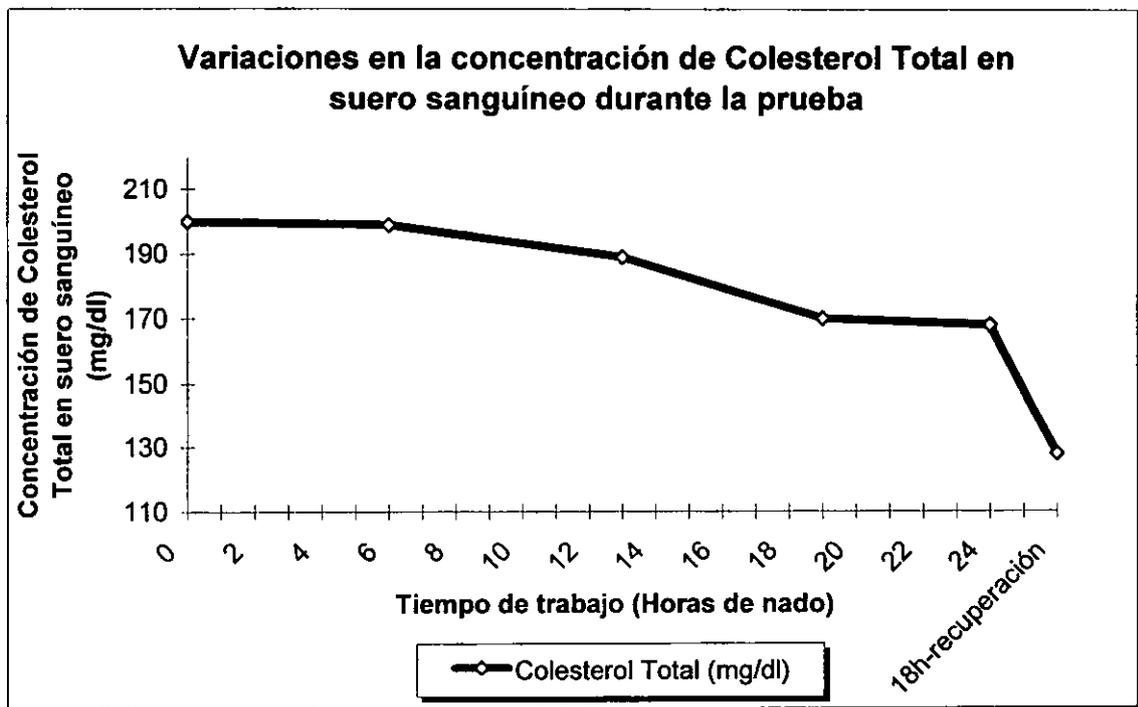


Figura 21. Curva de comportamiento del Colesterol Total durante la prueba de 24 horas de nado continuo en alberca semiolímpica, Cancún, Q. Roo. 7-8 de Junio de 1996.

Lipoproteínas

En las figuras 22 y 23 se muestran las variaciones en las concentraciones de los colesteroles de Lipoproteínas de Alta, Baja, y Muy Baja densidad en sangre durante las pruebas de 12 y 24 horas.

En ambas pruebas se observaron muy pocos cambios en las lipoproteínas de baja densidad (LDL), mientras que las variaciones más drásticas las presentó el comportamiento de las lipoproteínas de alta densidad (HDL), donde en la prueba de 12 horas subió desde 44 hasta 60 mg/dl (aproximadamente el 40%) siendo en la octava hora donde se obtuvo el valor máximo y después de este momento, empieza a disminuir la concentración. En la prueba de 24 horas los cambios fueron menos drásticos y mostró una tendencia general a aumentar la concentración de HDL conforme avanzaron las horas de nado.

La fracción de colesterol de lipoproteínas de muy baja densidad fue la más sensible a la actividad física ya que presentó notables cambios conforme pasaron las horas de nado. Mostró una tendencia general a la disminución de la concentración de este componente en sangre entre mayor eran las horas de ejercicio. En la prueba de 24 horas la caída fue muy drástica, desde 65 mg/dl en la sexta hora hasta 15 mg/dl al término de la prueba, y de 1 mg/dl después de 18 horas de recuperación. La disminución del colesterol de muy baja densidad ayuda a explicar la disminución del Colesterol Total.

En otros estudios de seguimientos bioquímicos (Centro de Medicina y Ciencias Aplicadas al Deporte de la CONADE, 1995) se ha observado que los atletas de alto rendimiento que se encuentran en una forma deportiva muy elevada, por lo general sus niveles de lipoproteínas de muy baja densidad tienden a disminuir, principalmente cuando el ejercicio realizado es predominantemente aeróbico.

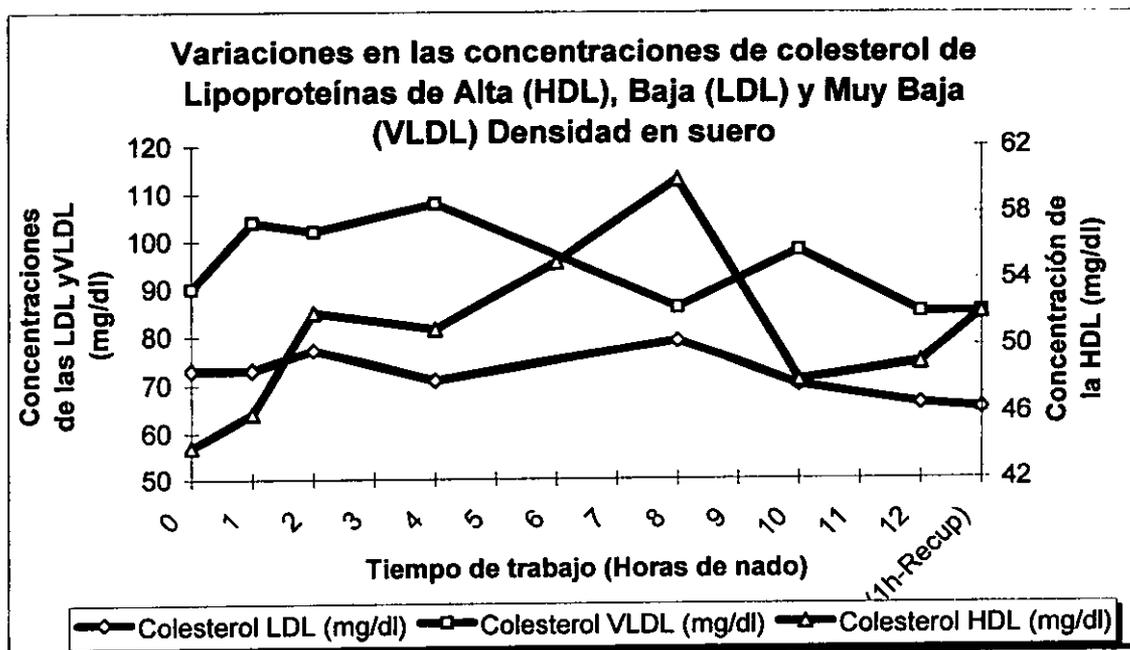


Figura 22 Curva de comportamiento del Colesterol de Lipoproteínas de Alta, Baja y Muy Baja Densidad durante la prueba de 12 horas de nado continuo en alberca semiolímpica, Cancún, Q. Roo. 4 de Mayo de 1996.

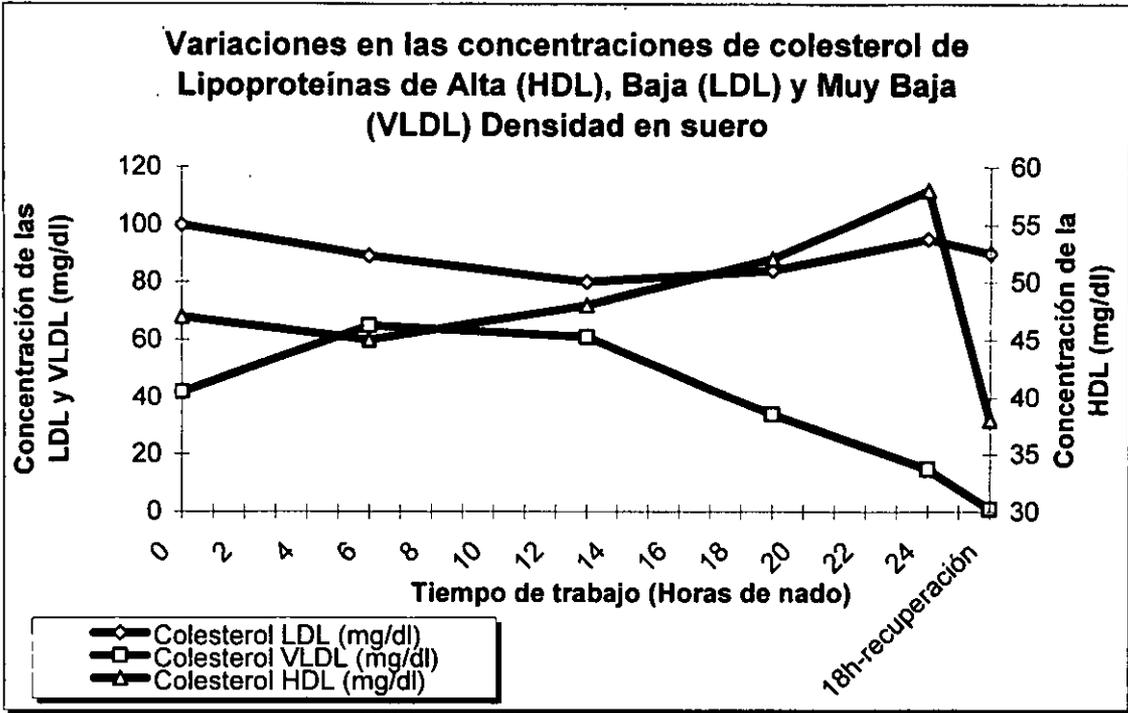


Figura 23. Curva de comportamiento del Colesterol de Lipoproteínas de Alta, Baja y Muy Baja Densidad durante la prueba de 24 horas de nado continuo en alberca semiolímpica, Cancún, Q. Roo. 7-8 de Junio de 1996.

Coefficiente de Aterosclerosis

Tanto en la prueba de 12 horas como en la de 24 se observó una tendencia general a la disminución del coeficiente de aterosclerosis conforme iban en aumento las horas de nado. En la primera prueba el valor más bajo registrado fue de 2.8 mientras que en la segunda prueba el mínimo valor fue 1.9 unidades. Véase figuras 24 y 25.

El trabajo de resistencia de larga duración, predominantemente aeróbica, influye en el metabolismo de lípidos con la movilización y utilización de estas biomoléculas combustibles; un reflejo de ello lo muestra el comportamiento del coeficiente de aterosclerosis, el que disminuyó conforme se acumulaba el tiempo de actividad física aeróbica. Este es un hecho conocido en la actualidad, y en el cual se basan los médicos que recomiendan la realización de ejercicio aeróbico a las personas que padecen cierto riesgo de aterosclerosis.

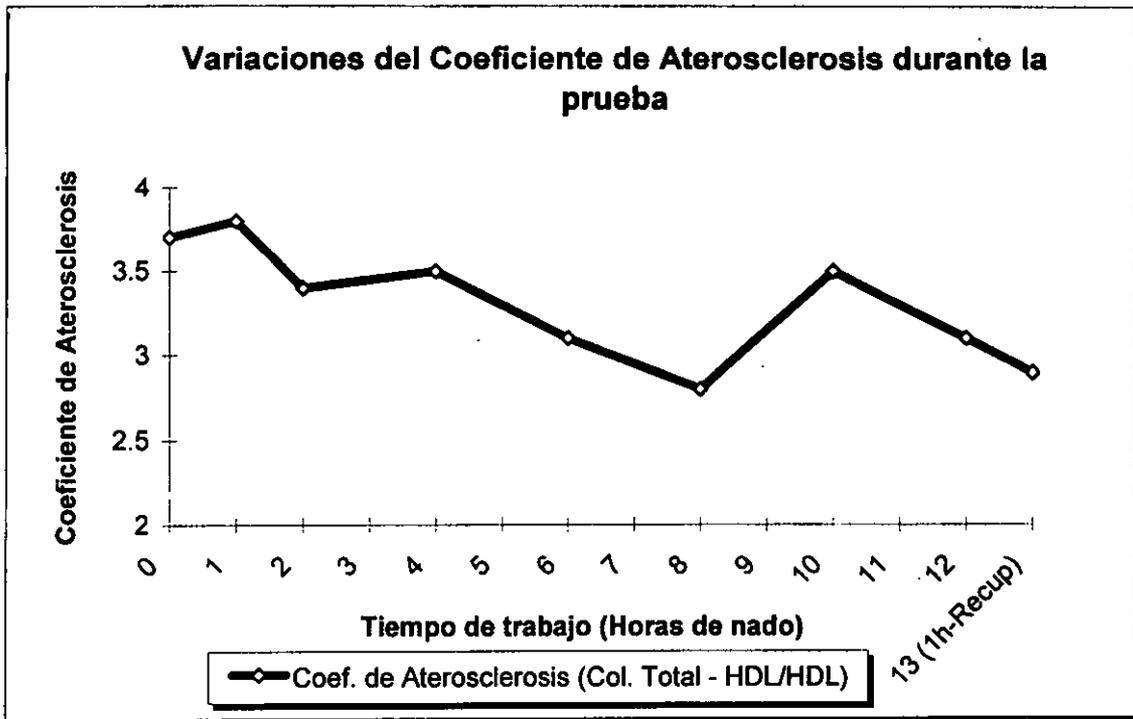


Figura 24. Curva de comportamiento del Coeficiente de Aterosclerosis durante la prueba de 12 horas de nado continuo en alberca semiolímpica, Cancún, Q. Roo. 4 de mayo de 1996.

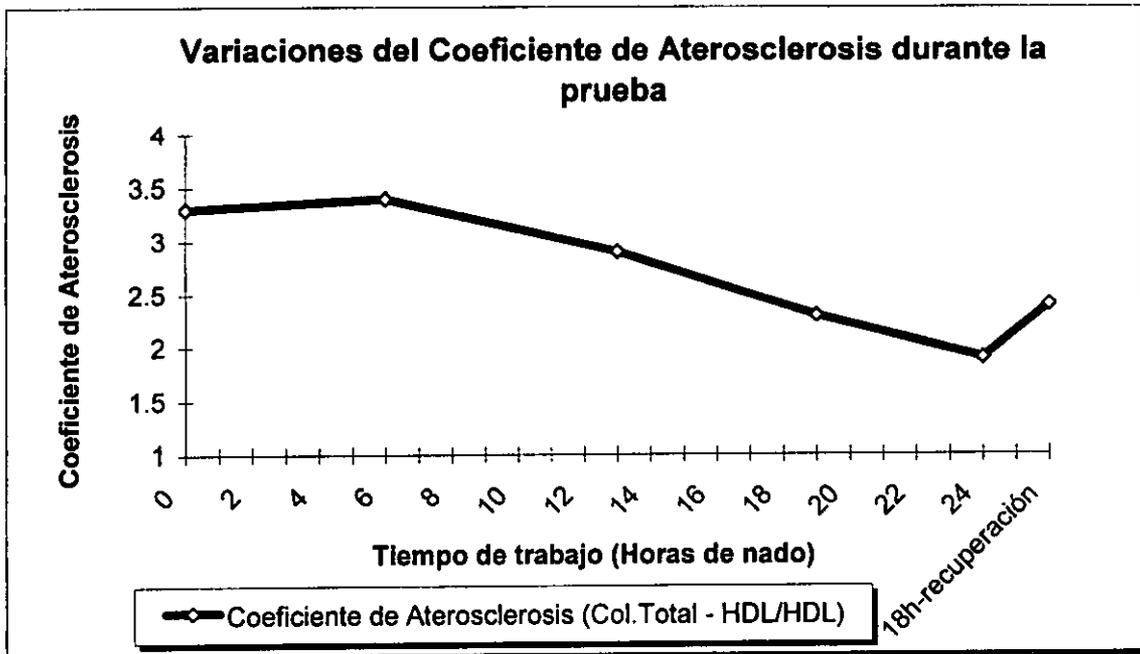


Figura 25. Curva de comportamiento del Coeficiente de Aterosclerosis durante la prueba de 24 horas de nado continuo en alberca semiolímpica, Cancún, Q. Roo. 7-8 de junio de 1996.

Ritmos de Nado

La figura 26 muestra el rendimiento de la nadadora durante el desarrollo de la prueba de 12 horas. El rendimiento fue constante a lo largo de toda la prueba, sólo presentó variaciones no mayores a 2 segundos en los parciales por cada 100 metros dentro de las primeras nueve horas de nado. Entre la 10a y 11a hora, cayó ligeramente el ritmo desde 1:35-36 hasta 1:38 minutos por 100 metros, a pesar de esto, en la última parte (cierre) hubo un aumento notable en la velocidad de nado, finalizando con un promedio de 1:33 minutos por cada parcial de 100 metros.

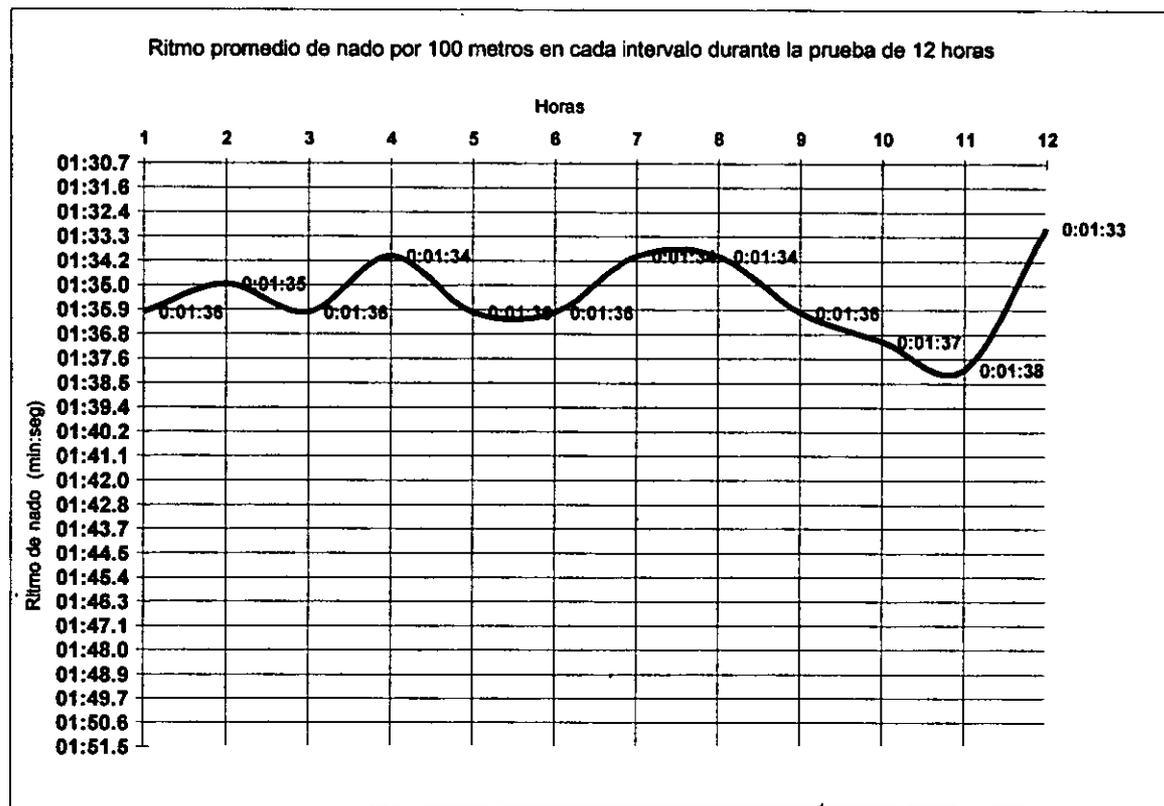


Figura 26. Ritmo de nado durante la prueba de 12 horas de nado continuo en alberca semiolímpica, Cancún, Q. Roo. 4 de Mayo de 1996.

En la figura 27 se muestra el rendimiento de la nadadora durante el desarrollo de las 24 horas. Se aprecia que en las primeras horas la velocidad fue muy constante, teniendo una pequeña variación de ± 2 segundos por cada parcial de 100 metros y así se mantuvo hasta las horas 12 y 13. A partir de la hora 14, se presentó una drástica caída en el ritmo, desde 1:37 minutos hasta 1:41 minutos en 100 metros de nado. Posteriormente, entre las horas 15 y 17 la nadadora mejoró su ritmo motivada por factores externos y utilizando algunas estrategias psicológicas, sin embargo, después de este repunte, el rendimiento siguió disminuyendo paulatinamente hasta el final del evento, donde la nadadora nuevamente mejoró su ritmo hasta 1:37 minutos en el momento de culminar el nado.

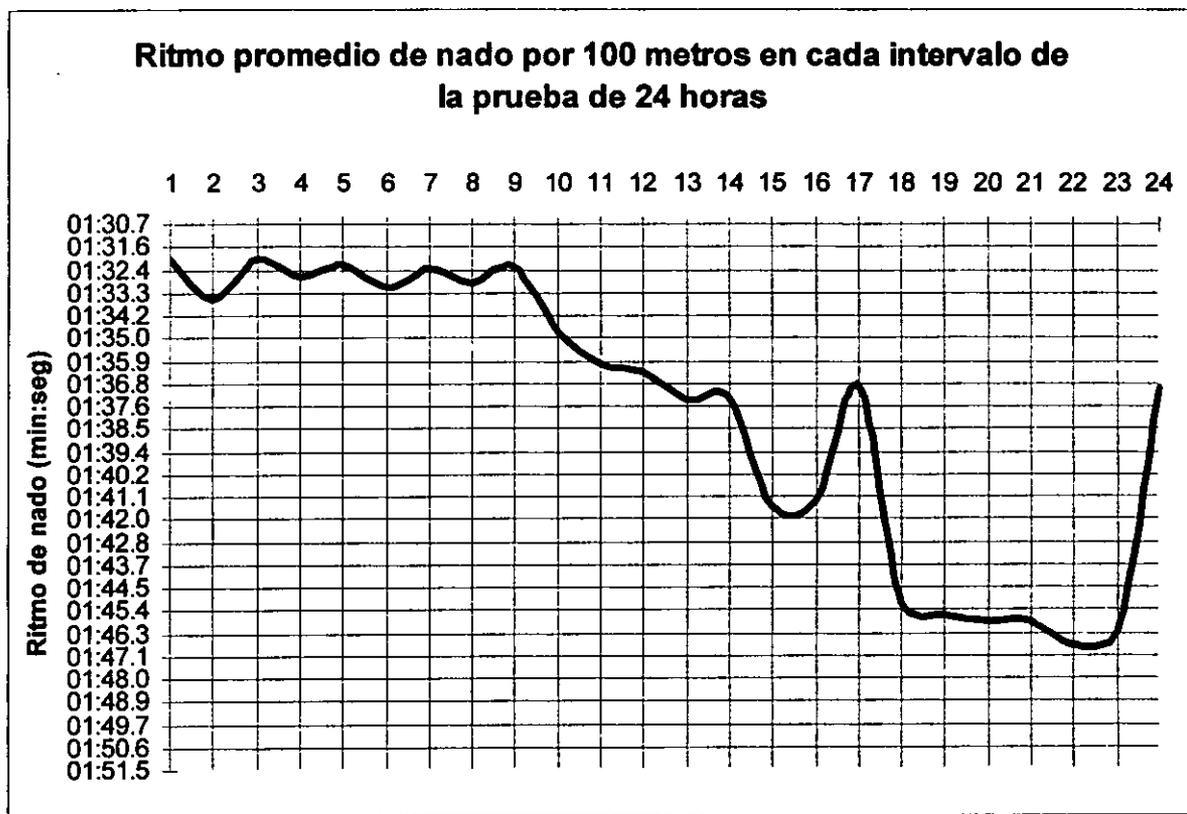


Figura 27. Ritmo de nado durante la prueba de 24 horas de nado continuo en alberca semiolímpica, Cancún, Q. Roo. 7-8 de Junio de 1996.

CONCLUSIÓN FINAL

La hipótesis general formulada para la presente investigación si se cumplió, ya que se encontraron varias relaciones existentes entre los componentes bioquímicos sanguíneos y los estímulos de diferentes tipos de ejercicio físico (cargas de entrenamiento).

En el estudio realizado durante el período de preparación general se encontró:

1. La correlación positiva muy fuerte y positiva entre la CK y el trabajo aeróbico medio, y una fuerte y positiva con el aeróbico intenso. En nuestra interpretación, el trabajo AEM y el AEI fueron los principales factores del entrenamiento que influyeron en la permeabilidad de las membranas de las células musculares.
2. La enzima Lactatodeshidrogenasa presentó una débil asociación con el rango de entrenamiento compensación, por lo que se concluyó que este tipo de trabajo realizado por la atleta ayuda a la remoción del ácido láctico producido después de la ejecución de esfuerzos intensos o prolongados, a través de la oxidación reversible del lactato a ácido pirúvico, reacción química que es catalizada por la LDH.

3. Se encontró una correlación positiva entre el trabajo de fuerza y la carrera con la urea. Desde nuestro punto de vista, este tipo de entrenamiento estimuló la utilización de proteínas como fuentes adicionales de producción de energía.
4. El trabajo aeróbico ligero, estuvo correlacionado muy fuerte y negativamente con la urea, y tuvo un efecto que favoreció hacia el anabolismo proteico, y como consecuencia, en la disminución de la concentración de urea en sangre, ya que además este rango de entrenamiento cumple con la función de remoción de productos de desecho y de normalización del balance óptimo ácido-alcalino de la sangre, a través de la activación de la circulación periférica y la capilarización del tejido muscular, aunado a su función de fortalecer la capacidad aeróbica general del organismo.
5. La relación CK/Urea mostró una fuerte correlación con los parámetros del entrenamiento, por lo que pueden ser utilizados en el seguimiento de los atletas para analizar y controlar los programas de entrenamiento.
6. Con relación a los parámetros bioquímicos del metabolismo del colesterol, solamente el colesterol de alta densidad (HDL) presentó correlaciones significativas, una de ellas asociado débil y positivamente al volumen total de entrenamiento, por lo que se concluyó que el entrenamiento de resistencia aeróbica promovió el aumento de colesterol de alta densidad y a su vez ayudó a la disminución del riesgo de aterosclerosis. Por el contrario del trabajo en esfuerzos anaeróbicos, como lo fue el trabajo de fuerza, que estuvo asociado negativamente con esta variable bioquímica.
7. Las correlaciones entre la hemoglobina y los diferentes rangos de entrenamiento dependen principalmente de la intensidad con que se realice la actividad física, por lo que estas relaciones pueden presentar comportamientos tanto positivos como negativos. Es de suma importancia llevar el seguimiento y control de las variaciones de este parámetro, principalmente en atletas que trabajan grandes cargas de volumen e intensidad y cuando el comportamiento de la correlación tiende a ser negativa, ya que de esta manera se pueden llegar a detectar posibles anemias deportivas y poder actuar con medidas terapéuticas.

Pruebas de 12 y 24 horas de nado continuo:

1. En las pruebas de nado continuo se pudo observar la versatilidad y alternancia de los metabolitos energéticos (triglicéridos, glucosa y urea) de la nadadora conforme el desarrollo de los eventos. Se observaron tres momentos de cambios notables en el metabolismo energético que fueron: 1) primeras dos horas de nado, cuando en ambas pruebas hubo un aumento en la concentración de glucosa y triglicéridos (sólo en la prueba de 12 horas); 2) entre la sexta y octava hora, cuando comienzan a subir nuevamente estos parámetros (segundo momento de movilización) y, 3) después de la novena hora, cuando hubo cambios que no fueron tan drásticos, pero si notables y con una tendencia a la disminución de triglicéridos y glucosa, mientras la urea se incrementaba gradualmente. Fue notable que el aumento de este parámetro coincidió con la disminución de los dos principales substratos energéticos (glucosa y triglicéridos) y posiblemente se comenzó la utilización de proteínas como fuente de energía.

2. En el nado continuo de 12 horas se observaron los picos de concentración máxima de glucosa y triglicéridos en las primeras dos horas (movilización de las reservas) y los valores mínimos se obtuvieron entre la sexta y octava hora (utilización). Fue notable que el aumento de la urea en ambas pruebas, coincidió con la disminución de los dos principales substratos energéticos (glucosa y triglicéridos), es decir, se utilizaron las proteínas como fuente de energía.
3. Se observó el aumento gradual de la CK conforme avanzaron las horas de nado suponemos debido al aumento en la permeabilidad de las membranas musculares.
4. Se observaron cambios drásticos en los parámetros relacionados con el metabolismo de grasas, se encontró la disminución del colesterol total y del coeficiente de Aterosclerosis, y un aumento del colesterol de alta densidad conforme las horas de ejercicio aeróbico. Pensamos que esto reflejó a su vez la disminución de reservas de glucógeno en músculo e hígado, por lo que el organismo comienza a compensar la demanda energética a través de la oxidación de lípidos.
5. En ambas pruebas se observó una tendencia general a la disminución del ritmo de nado, que comenzó aproximadamente a partir de la novena hora. Lo que coincidió con el descenso de los niveles en diferentes parámetros como colesterol total, VLDL, coeficiente de Aterosclerosis, probablemente debido a la estimulación del metabolismo de lípidos como fuente de obtención de energía cuando las reservas de glucógeno escasean.

Una de las características más relevantes de los seres vivos es la de manifestar variación, es decir presentar características individuales entre organismos de un mismo grupo, aún cuando entre ellos haya un estrecho parentesco mutuo. Las causas de esta variación pueden deberse a factores como el medio (variación ecológica), por variaciones genéticas o por la interacción entre ambas (Reyes, 1990), es por ello la relevancia de realizar programas de preparación de atletas, donde el entrenamiento este enfocado a la individualización de las cargas para cada uno de ellos, dependiendo de sus aptitudes y respuesta fisiológica.

A través de la bioquímica deportiva, es posible conocer esta respuesta, así como las características individuales del metabolismo energético del deportista y con ello, poder sugerir recursos para desarrollarlas y optimizarlas.

Así mismo, se pueden reconocer estructuras bioquímicas individuales de los atletas, que en la literatura deportiva alemana se denomina ACU, análisis de un caso único (Bali et. al., 1997), y se considera trascendental debido a que los deportistas de alto rendimiento presentan características muy particulares y que son de gran interés conocer, ya que dichas estructuras son las que les permiten llegar a rendimientos máximos.

En el caso de la atleta en estudio, a través de los seguimientos bioquímicos se pudo definir su estructura bioquímica individual conformada de acuerdo con los diferentes estímulos del entrenamiento que realizó y que le permitió alcanzar el objetivo deportivo planteado.

Estos tipos de estudios también son útiles para determinar los planes de alimentación a seguir por un deportista que realice pruebas donde se requiera la ingestión de nutrientes durante la actividad física (cantidad e intervalos de alimentación).

8. CONSIDERACIONES FINALES Y PERSPECTIVAS

El trabajo que se ha presentado en esta tesis, además de ser un ejemplo de la aplicación práctica en un campo específico de la biología, puede servir como una guía de referencia para deportista y entrenadores que planeen realizar un seguimiento bioquímico durante la ejecución de un programa de entrenamiento específico, con el fin de conocer de manera científica la asimilación de las cargas del entrenamiento.

La realización de esta investigación enfrentó algunas limitantes como lo fueron las presupuestales, falta de reactivos o materiales, escasez de muestra, el muestreo en campo, etc. Por otro lado, algunas de las variables que pueden llegar a tener una influencia importante sobre los resultados del estudio fueron difíciles de controlar, como fueron las enfermedades o el control riguroso de dieta alimenticia del atleta.

Por lo anterior, se hizo una reflexión sobre algunos puntos a mejorar de este estudio y una propuesta a investigadores que deseen continuar desarrollando este tipo de trabajos en futuras investigaciones.

Se considera muy importante conocer los hábitos alimenticios del deportista sujeto a estudio, así como la cantidad y calidad de nutrientes que ingiere diariamente y su relación con el gasto energético por día, ya que un cambio repentino en la dieta puede causar variaciones notables en las concentraciones de los componentes químicos de la sangre.

Por otra parte, es importante obtener los análisis completos de todos los componentes sanguíneos por cada semana, lo que nos permitirá contar con un mayor número de datos y obtener una muestra más representativa. También se sugiere llevar un seguimiento a lo largo de todos los periodos que abarcan un programa de entrenamiento (transición, preparación y competitivo) para poder conocer la respuesta en diferentes etapas: durante un descanso prolongado, con sobrecargas o en el descenso.

Se pueden desarrollar estudios simultáneos de varios deportistas que ejecutan un programa de entrenamiento similar y hacer una comparación de las estructuras bioquímicas y respuestas fisiológicas individuales, así como buscar si hay comportamientos semejantes entre ellos. Estas comparaciones pueden hacerse con respecto al sexo, edad, altitud, etc.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Bali, G. et. al. 1997. Investigación Multidisciplinaria para Romper un Récord del Mundo en un Deporte de Resistencia. III Certamen Nacional de Investigación en los Campos de Educación Física, Deporte y Ciencias Aplicadas al Deporte. CONADE. SEP. 64 p.
2. Bauer, J. 1986. Análisis Clínicos. Métodos e interpretación. Ed.Reverté. Barcelona, España. 1302 p.
3. Centro Nacional de Medicina y Ciencias Aplicadas al Deporte de la Comisión Nacional del Deporte (CONADE), Archivos de expedientes de atletas, 1993-1996.
4. Chatton, J. 1974. Manual de Práctica Médica. 2a. Ed. El Manual Moderno. México. 602 p.
5. Davies, M. 1979. Funciones de las Membranas Biológicas. Ed. Omega. Barcelona, España. 79 p.
6. Dunn, O.J. 1964. Basic Statistics: A primer for the biomedical Sciences. John Wiley & Sons. Inc. USA. p. 139-156.
7. Eckert, R. 1988. Animal Physiology. Mecanisms and Adaptations. 3a. Ed. W.H. Freeman and Company. New York, USA. 683 p.
8. Fersht, A. 1980. Estructura y mecanismo de las enzimas. Serie de biología fundamental. Ed.Reverté. Barcelona. 370 p.
9. Forteza de la Rosa, A. y Ranzola, A. 1988. Bases Metodológicas del Entrenamiento Deportivo. Ed. Científico-Técnica. La Habana, Cuba. 84 p.
10. González-Ruano, E. 1986. Alimentación del Deportista. Ed. Marban. Madrid, España. 340 p.
11. Gurr, M.I. y Harwood, J.L. 1991. Lipid Biochemistry. An Introduction. 4a. Ed.Chapman Hall. England. 406 p.
12. Harre, D. 1987. Teoría del Entrenamiento Deportivo Ed.Científico-técnica, La Habana, Cuba. 395 p.
13. Hargreaves, M. 1995. Exercise Metabolism. The University of Melbourne. Ed.Human Kinetics Publishers, Inc.USA. 263 p.
14. Kormanovski, A. 1997. Marcha: Aspectos Bioquímicos del Entrenamiento en Altura. Archivos de Medicina del Deporte Española. España.
15. Lehninger, A. 1985. Bioquímica. Las Bases Moleculares de la Estructura y Función Celular. 2a. edición. Ed. Omega. Barcelona. 1117 p.

16. Levin, R. y Rubin, D. 1996. Estadística para Administradores. 6ª. Ed. Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A. México, D.F. 1018 p.
17. Maracula, J. et al. 1992. Bioquímica Cuantitativa. Ed, Reverté. España. 723 p.
18. Menshikov, V. y Volkov, N. 1990. Bioquímica. Vneshtorgizdat. Moscú. 420 p.
19. Mora, J. et al. 1974. Los Perfiles de la Bioquímica en México. Instituto de Investigaciones Biomédicas. UNAM. México. 579 p.
20. Navarro, F. et al. 1990. Natación. Comité Olímpico Español. Barcelona, España.
21. Osmar, R. 1987. Fisiología Deportiva. Ed. El Ateneo. Argentina. 207 p.
22. Ponce P., A. 1981. Bioquímica de los ejercicios físicos. Editorial Pueblo y educación. Ciudad de La Habana. Cuba. 174 p.
23. Reyes C., P. 1990. Bioestadística Aplicada. 2a. de. Trillas. México. 216 p.
24. Ruiz S., G. 1992. Respuesta Hormonal al Ejercicio: Papel de las Catecolaminas. Revisión bibliográfica. Tesis profesional. UNAM. México.
25. Ryan, A. y Allman F. Jr. 1989. Sport Medicine. 2a. edición. Academic Press, Inc. London. 746 p.
26. Schramm, E. 1987. Sportschwimmen. Sportverlang. Berlin, DDR.
27. Silver Platter Information, 1994. Sport Discus. Software resource CD-ROM. Sport Information Research Centre. Norwood, MA. USA.
28. Simpkins, J. y Williams, J. 1987. Advanced Human Biology. Ed. Unwin Hyman. London.
29. Stryer, L. 1995. Bioquímica. Tomo I. 4a. edición Ed. Reverté. España.
30. Thiess, S. 1985. Grundbegriffe des Trainings 2. Sportverlang, Berlin. DDR.
31. Thiess, S. 1986. Leistungsfaktoren in Training und Wettkampf. Sportverlang, Berlin. DDR.
32. Tudela, V. 1996. El Colesterol: lo Bueno y lo Malo. Fondo de Cultura Económica. México. 73 p.
33. Zintl, F. 1991. Entrenamiento de la Resistencia: Fundamentos, Métodos y Dirección del Entrenamiento. Ed. Roca. México. 225 p.

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

10. ANEXOS

I Tabla de valores para la correlación de rango de Spearman r_s para áreas combinadas en los dos extremos.

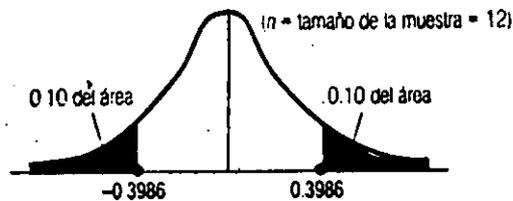
II Plan general de entrenamiento para las 24 horas de natación

III Registro del trabajo real

IV Apoyo nutricional

V Base de datos del seguimiento bioquímico y de entrenamiento durante el período de preparación general y específica para el nado continuo de 24 horas.

I) Tabla de valores para la correlación de rango de Spearman r_s para áreas combinadas en los dos extremos (Levin y Rubin, 1996).



*Valores para la correlación de rango de Spearman (r_s) para áreas combinadas en los dos extremos.

Ejemplo:
Para una prueba de dos extremos al nivel de significancia de 0.20, con $n = 12$, el valor apropiado de r_s se puede encontrar buscando en la columna de 0.20 y en el renglón correspondiente a 12; el valor apropiado de r_s es 0.3986.

n	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01	0.005
4	0.8000	0.8000				
5	0.7000	0.8000	0.9000	0.9000		
6	0.6000	0.7714	0.8286	0.8857	0.9429	0.9643
7	0.5357	0.6786	0.7450	0.8571	0.8979	0.9304
8	0.5000	0.6190	0.7143	0.8095	0.8571	0.9000
9	0.4667	0.5833	0.6833	0.7667	0.8167	0.8667
10	0.4424	0.5515	0.6364	0.7333	0.7818	0.8333
11	0.4182	0.5273	0.6091	0.7000	0.7455	0.8000
12	0.3986	0.4965	0.5804	0.6713	0.7273	0.7818
13	0.3791	0.4780	0.5549	0.6429	0.6978	0.7512
14	0.3626	0.4593	0.5341	0.6220	0.6747	0.7300
15	0.3500	0.4429	0.5179	0.6000	0.6536	0.7100
16	0.3382	0.4265	0.5000	0.5824	0.6324	0.6900
17	0.3260	0.4118	0.4853	0.5637	0.6152	0.6700
18	0.3148	0.3994	0.4716	0.5480	0.5975	0.6500
19	0.3070	0.3895	0.4579	0.5333	0.5825	0.6317
20	0.2977	0.3789	0.4451	0.5203	0.5684	0.6133
21	0.2909	0.3688	0.4351	0.5078	0.5545	0.5945
22	0.2829	0.3597	0.4241	0.4963	0.5420	0.5761
23	0.2767	0.3518	0.4150	0.4852	0.5306	0.5580
24	0.2704	0.3435	0.4061	0.4748	0.5200	0.5400
25	0.2646	0.3362	0.3977	0.4654	0.5100	0.5220
26	0.2588	0.3299	0.3894	0.4564	0.5000	0.5050
27	0.2540	0.3236	0.3822	0.4481	0.4915	0.4880
28	0.2490	0.3175	0.3749	0.4401	0.4835	0.4800
29	0.2443	0.3113	0.3685	0.4320	0.4760	0.4720
30	0.2400	0.3059	0.3620	0.4251	0.4695	0.4650

*Tomado de W.J. Conover, *Practical Nonparametric Statistics*, John Wiley & Sons, Inc. Nueva York, 1971

III) Registro del trabajo real llevado a cabo por la nadadora durante su preparación para las 24 horas de nado continuo, de enero a junio de 1996.

PERIODOS	Preparacion general												Preparacion especifica																	
	ENERO						FEBRERO						MARZO						ABRIL						MAYO-JUNIO					
	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY
SEMANAS	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28		
DIAS	27	04	11	18	25	01	08	15	22	29	05	12	19	26	03	10	17	24	31	07	14	21	28	05	12	19	26	02	06	
SES/SLM	6	6	5	6	6	7	6	6	4	5	6	6	6	6	9	7	9	9	9	11	10	9	12	7	7	10	9	7	4	
KM/SEM	27	35	21	25	23	32	35	29	34	21	29	49	50	49	54	44	59	60	70	58	52	68	70	40	55	50	49	15		
TIPO/MIC	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	E	E	E	E	E	E	E	E	E	PC	PC	PC	C	C	
AGUA/TIERRA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TIPO/FZA	Gr	Gr	Gr	Gr	Gr	Mx	Mx	Mx	Mx	Mx	Mx	Mx	Mx	Mx	Re	Re	Re	Re	Re	Re	Re	Re	Re	Re	Re	Re	Re	Re	Ma	
EVALUACIONES																														
CONCENTRACIONES																														
COMPTENCIAS																														

Legenda:
 Mic = ciclo de 15 minutos
 Gr = General
 C = Competitivo
 E = Especial
 Re = Resistencia
 Ma = Mantenimiento
 PC = Pico
 C = Competitivo

Nota: Las cifras en color azul indican que las pruebas pueden compararse con las planeadas en la gran No.
 En los kilómetros se señalan con obcuro los recorridos que rebasan lo planeado.

IV) Apoyo nutrimental

La nutrición en atletas de alto rendimiento es de especial relevancia, particularmente cuando el gasto energético es de grandes magnitudes (González-Ruano, 1986). Por tal motivo es importante programar un plan nutrimental complementario adecuado a las cargas de entrenamiento.

Dentro de las evaluaciones médicas que se acostumbra realizar a estos atletas, se aplica una valoración nutricional donde se toman mediciones de peso corporal, estatura, porcentaje de grasa corporal y se hace un análisis de los hábitos alimenticios del deportista. A partir del análisis se determina su peso óptimo (de acuerdo a la especialidad deportiva) y se determina un plan alimenticio a seguir durante los diferentes periodos del entrenamiento donde se establecen dietas de acuerdo a las cargas (González-Ruano, 1986).

En el caso del atleta a la que se enfoca el presente estudio, se estableció una dieta balanceada de 2,000 kcal/día cuando las cargas eran ligeras y de 3,800 kcal/día cuando las cargas llegaban a picos máximos de volumen e intensidad. La distribución energética fue la siguiente:

- 55% de energía proveniente de hidratos de carbono (sólo 15% provenientes de azúcares simples)
- 15% de la energía proveniente de proteínas
- 30% de la energía proveniente de lípidos (2/3 origen vegetal y 1/3 origen animal)

En el período de mayor intensidad y ejercicios de trabajo de fuerza (pesas), se ajustó la proporción a 20% de proteínas y 25% de grasas, mientras que los carbohidratos se mantuvieron constantes. El peso de la nadadora se midió quincenalmente y su porcentaje de grasa corporal, mensualmente. Se vigiló que no se presentaran cambios drásticos en su peso.

En una segunda etapa del plan nutrimental se estableció un régimen alimenticio precompetitivo (tres días previos al evento) que consistió en la administración de una dieta hipercalórica, principalmente vía carbohidratos, con la finalidad de saturar las reservas de glucógeno de la nadadora. También, en este plan se acordó el tipo, cantidad y tiempos de alimentación para que la nadadora ingiriera durante el desarrollo de las pruebas de 12 y 24 horas de nado continuo.

V a) BASE DE DATOS DEL ENTRENAMIENTO REALIZADO POR LA NADADORA DURANTE EL PERIODO DE PREPARACIÓN GENERAL Y ESPECÍFICA PARA EL NADO CONTINUO DE 24 HORAS
Enero-Junio/1996

Semana	Fecha	Volumen Total kms.	Aer. Ligero kms.	Aer. Medio kms.	Aer. Intenso kms.	Anaeróbico láctico Resistencia Vel. kms.	Anaer. alifático kms.	Resist. especif. competencia		Compensación		Trabajo de fuerza		Carrera Aeróbica kms.
								kms.	kms.	kms.	kms.	min	min	
		26.6	9.7	15.2	1.2	0	0.5	0	0	0	0	0	13.1	
	27-3 diciembre	35.1	19.71	11.5	2.8	0	1.085	0	0	0	0	0	11.3	
	4-10 diciembre	21.6	14.6	5	0.1	0.2	0.3	1.4	0	0	0	0	9.2	
	11-17 diciembre	25.3	25.2	0	0.1	0	0.01	0	0	0	0	0	13.3	
	18-24 diciembre	23.6	21	2.5	0.1	0	0.01	0	0	0	0	0	19	
1	1-7 enero	32.7	30.2	1.5	0.1	0	0.01	0	0.9	0	0	60	33	
2	8-14 enero	35.5	28.7	2	0.1	0	0.825	0	3.875	0	0	40	44.7	
3	15-21 enero	29	20.5	3	0.1	0	1.25	0	4.8	0	0	40	48.83	
4	22-28 enero	33.9	23.9	4.6	0.1	0	0.775	0	4.525	0	0	75	51.9	
5	29-4 febrero	20.8	14.4	3.4	0.1	0	0.27	0	2.63	0	0	90	29	
6	5-11 febrero	28.7	18.1	4.8	1.5	0	1	0	3.3	0	0	204	11	
7	12-18 febrero	49.2	34.32	5.3	2.5	0.6	1.27	0	5.21	0	0	90	3.3	
8	19-25 febrero	49.7	29.95	7	2.2	0	1.5	3	6.05	0	0	90	8.1	
9	26-3 marzo	48.6	32.5	6.6	2.6	0.4	1.41	0	5.09	0	0	90	21.43	
10	4-10 marzo	53.6	33.95	7.4	4.4	0.3	1.6	0	5.95	0	0	90	12.5	
11	11-17 marzo	44	27.65	5.4	0	0	1	6	3.95	0	0	60	0	
12	18-24 marzo	58.7	45.1	3.6	3.8	0	1.05	0	5.05	0	0	60	2.5	
13	25-31 marzo	60.2	41.95	9	1.6	0	1.35	0	6.3	0	0	60	5	
14	1-7 abril	70.5	36.55	2.4	1.2	0.4	1.84	22.7	5.41	0	0	0	3	
15	8-14 abril	58.2	37.45	9.7	2.8	0	2.3	0	5.95	0	0	0	0	
16	15-21 abril	52	36.5	5.9	1.6	0	1.36	0	6.84	0	0	60	3.3	
17	22-28 abril	67.8	42.3	16.8	2.8	0.55	0.95	0	4.6	0	0	0	0	
18	29-5 mayo	70.4	20.4	4.8	0	0	0.8	42.8	1.8	0	0	0	0	
19	6-12 mayo	40.1	31.95	5.4	0	0	0.4	0	2.35	0	0	30	0	
20	13-19 mayo	54.7	38.9	8.7	1	0	0.85	0	5.25	0	0	30	0	
21	20-26 mayo	50.3	32.3	8.4	1.8	0	1.35	0	6.65	0	0	30	5	
22	27-2 junio	49.8	27.7	8	1.6	0	1.35	6	5.15	0	0	30	5	
23	3-6 junio	15	12	0	0	0	0.6	0	2.4	0	0	0	0	
	7-8 junio													

Nota: las semanas consideradas para el análisis estadístico fueron: 5,6,8,11,16-21; y para la hemoglobina: 3,4,5,6,8,11,12 y 16.

V b) BASE DE DATOS DEL SEGUIMIENTO BIOQUÍMICO REALIZADO A LA NADADORA DURANTE EL PERÍODO DE PREPARACIÓN GENERAL Y ESPECÍFICA PARA EL NADO CONTINUO DE 24 HORAS
Enero-Junio/1996

Semana	Hemoglobina	Urea	CK	CK/Urea	LDH	LDH/CK	Colesterol Total	Colesterol HDL	Colesterol LDL + VLDL	Coefficiente Aterosclerosis	Peso corporal	Observaciones
#	g/dl	mg/dl	U/L	unidades	U/L	unidades	mg/dl	mg/dl	mg/dl	Unidades	kgs.	Test/Viajes/Enfermedad/etc.
											62.5	Transición
												Transición-Pretemporada
												Test: 1,400 m. natación, Tridon de Aldrich
												Transición-Pretemporada
												Transición-Pretemporada
1											62.5	Preparación general
2											62.5	Preparación general
3	13.8						277	289			62	Preparación general; ozono + de 250 INECA
4	14.5						185	3.85			61	Preparación general; contaminación fuerte
5	14.5						34	47	1.4	259	62	Preparación general; viaje a San Diego (nivel mar)
6	14.6						35	31	0.89	207	61.5	Preparación general
7												Preparación general
8	14.2						31	33	1.1	313	61.5	Test: 1 x 3,000 m. natación
9							38	44	1.2	377	60.5	Preparación general
10							40	40		245	60.5	Preparación general
11	14.9						13	20	1.5	275	60	Test: 1 x 6,000
12	15.1						16	35	2.2	294	60.8	Preparación general
13										49	60.5	Viaje a Cuba (nivel del mar)
14											60	Test: 6 horas de nado continuo, La Habana, Cuba
15										19	59.5	Preparación específica
16	15.6						16	51	3.2	283	59.5	Preparación específica
17							12	85	7.1	157	59	Preparación específica
18							26	40	1.5	140	55	Test: 12 horas de nado continuo; Cancun, Q. Roo
19							21	37	1.8	117	59.3	Preparación específica
20							18	48	2.7	203	59.3	Preparación específica
21							20	65	3.3	220	47	Preparación específica
22											58.8	Test: 1 x 6,000 ; Sábado: Viaje a Cancun.
23												Periodo de supercompensación o descenso
												24 Hrs de nado continuo en alberca de 25 m

Nota: las semanas consideradas para el análisis estadístico fueron la 5,6,8,11,16-21; y para la hemoglobina 3,4,5,6,8,11,12 y 16.