

**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE HUMANIDADES Y EDUCACIÓN
ESCUELA DE EDUCACIÓN
DEPARTAMENTO DE EDUCACIÓN FÍSICA
COMISIÓN DE MEMORIA DE GRADO**

**UMBRAL VENTILATORIO EN LA TRANSICIÓN AERÓBICA-
ANAERÓBICA EN TRIATLONISTAS DE ALTA COMPETENCIA DE LA
SELECCIÓN DEL ESTADO MÉRIDA**

(Memoria de Grado presentada como requisito para optar al título de
Licenciado en Educación, Mención Educación Física)

Autor: Br. Jonathan J. Quintero M.
Tutor: Prof. Bernhard Hoeger

Mérida, Octubre del 2009.

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi carácter de Tutor de Trabajo de Grado presentado por el Br. Jonathan José Quintero Mora para optar al título de Licenciado en Educación. Mención: Educación Física, Deporte y Recreación, considerando que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser defendido en presentación pública y evaluado por parte del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Mérida, a los _____ del mes de _____ de 20_____.

www.bdigital.ula.ve

Firma

Prof. Bernhard Hoeger

ÍNDICE GENERAL

	pp.
LISTA DE TABLAS.....	v
LISTA DE GRAFICOS.....	vi
DEDICATORIA.....	vii
AGRADECIMIENTO.....	viii
RESUMEN.....	ix
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.- EL PROBLEMA	
Planteamiento del Problema.....	2
Justificación.....	6
Objetivos de la Investigación.....	9
CAPÍTULO II.- MARCO TEÓRICO	
Antecedentes.....	10
Bases teóricas.....	15
El Triatlón.....	15
Umbral Anaeróbico.....	18
Umbral Ventilatorio.....	20
Metodología de Determinación del Umbral Ventilatorio.....	25
Metodología de Beaver.....	27
Consumo Máximo de Oxígeno.....	28
Ácido Láctico.....	29
Métodos de determinación de la transición Aeróbica-Anaeróbica mediante análisis del lactato.....	30
Segundo Punto de Ruptura del Lactato en Test Incremental.....	32

CAPÍTULO III.- MARCO METODOLÓGICO

Tipo de Investigación.....	33
Diseño de Investigación.....	33
Población y Muestra.....	34
Procedimiento.....	34
Objetivo.....	35
Instrumental.....	35
Metodología.....	35

CAPÍTULO IV.- PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Características Descriptivas de los Sujetos.....	40
--	----

CAPÍTULO V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones y Recomendaciones.....	63
-------------------------------------	----

REFERENCIAS.....	66
------------------	----

www.bdigital.ula.ve

LISTA DE TABLAS

1	Protocolo de Bruce.....	36
2	Características descriptivas de los sujetos.....	41
3	Datos objetivos de cada variable en el test de esfuerzo en el sujeto 1.....	42
4	Datos objetivos de cada variable en el test de esfuerzo en el sujeto 2.....	44
5	Datos objetivos de cada variable en el test de esfuerzo en el sujeto 3.....	47
6	Datos objetivos de cada variable en el test de esfuerzo en el sujeto 4.....	50
7	Datos objetivos de cada variable en el test de esfuerzo en el sujeto 5.....	53
8	Datos objetivos de cada variable en el test de esfuerzo en el sujeto 6.....	56
9	Datos objetivos de cada variable en el test de esfuerzo en el sujeto 7.....	59
10	Datos objetivos de cada variable en el test de esfuerzo, medias comparados con otro estudio.....	61

LISTA DE GRÁFICOS

1	Localización de los electrodos.....	37
2	Umbral ventilatorio, método V-slope en el sujeto 1.....	42
3	Umbral Ventilatorio, criterio dual en el sujeto 1.....	43
4	Comportamiento del lactato en el sujeto 2.....	44
5	Umbral ventilatorio, método V-slope en el sujeto 2.....	45
6	Umbral Ventilatorio, criterio dual en el sujeto 2.....	45
7	Comportamiento del lactato en el sujeto 3.....	47
8	Umbral ventilatorio, método V-slope en el sujeto 3.....	48
9	Umbral Ventilatorio, criterio dual en el sujeto 3.....	48
10	Comportamiento del lactato en el sujeto 4.....	50
11	Umbral ventilatorio, método V-slope en el sujeto 4.....	51
12	Umbral Ventilatorio, criterio dual en el sujeto 4.....	51
13	Comportamiento del lactato en el sujeto 5.....	53
14	Umbral ventilatorio, método V-slope en el sujeto 5.....	54
15	Umbral Ventilatorio, criterio dual en el sujeto 5.....	54
16	Comportamiento del lactato en el sujeto 6.....	56
17	Umbral ventilatorio, método V-slope en el sujeto 6.....	57
18	Umbral Ventilatorio, criterio dual en el sujeto 6.....	57
19	Comportamiento del lactato en el sujeto 7.....	59
20	Umbral ventilatorio, método V-slope en el sujeto 7.....	60
21	Umbral Ventilatorio, criterio dual en el sujeto 7.....	60

DEDICATORIA

A Dios todopoderoso que me ilumina cada día.

A mis Padres: Celina del Carmen Mora de Quintero y Hildefonso Quintero Albornoz, por ser los pilares fundamentales de mi formación como persona y como profesional.

www.bdigital.ula.ve

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Los Andes, por abrirme las puertas al conocimiento y formarme como profesional.

A mi tutor, profesor Bernhard Hoeger por su colaboración, ayuda, orientación y enseñanzas en la realización de este trabajo de grado y durante la carrera.

Al CENACADEM por abrirme las puertas y dejarme usar sus instalaciones para la realización de este trabajo de grado.

A las personas que han participado, en la realización de esta investigación especialmente a Mayra, Ruth y Yexirama.

A mis padres por apoyarme durante toda mi vida.

A Todos, Gracias.

**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE HUMANIDADES Y EDUCACIÓN
ESCUELA DE EDUCACIÓN
DEPARTAMENTO DE EDUCACIÓN FÍSICA
COMISIÓN DE MEMORIA DE GRADO**

**UMBRAL VENTILATORIO EN LA TRANSICIÓN AERÓBICA-
ANAERÓBICA EN TRIATLONISTAS DE ALTA COMPETENCIA DE LA
SELECCIÓN DE ESTADO MÉRIDA.**

Autor: Jonathan J. Quintero M

Tutor: Bernhard Hoeger

Fecha: Octubre, 2009

RESUMEN

El presente estudio es cuasiexperimental, de diseño descriptivo-exploratorio, cuyo propósito fundamental fue valorar los gases respiratorios, para determinar el umbral ventilatorio 1 (UV1), y la frecuencia cardiaca en ese punto, así como también establecer directamente el consumo máximo de oxígeno (VO_2 máx.). La determinación del UV1 y VO_2 máx. se realizó mediante el análisis de gases respiratorios durante un test de esfuerzo, bajo el protocolo de Bruce, con el que se describió la transición del metabolismo aeróbico al anaeróbico durante la realización de un ejercicio incremental, utilizando un analizador de gases y un analizador enzimático para evaluar las concentraciones de lactato en sangre. Como propósito secundario se determinó la composición corporal. La muestra estuvo conformada por 7 triatlonistas de la selección del Estado Mérida, en edades comprendidas entre 15 y 26 años de edad. El promedio del UV1, se ubicó en un VO_2 de 55 ml/kg/min. El promedio de la frecuencia cardiaca al momento de determinación del UV1 fue de 159 lt/min. Asimismo, el VO_2 máx., presentó un valor de 73.8 ml/kg/min., y el porcentaje de grasa se ubicó en 12%. Los resultados obtenidos del UV1 al relacionarlos con la frecuencia cardiaca sirvieron para la determinación y planificación de las intensidades de las cargas de entrenamiento y recuperación para cada atleta.

Descriptores: Triatlón, consumo máximo de oxígeno, umbral ventilatorio.

INTRODUCCIÓN

El cuerpo humano es una maquina asombrosa. Mientras se está leyendo, en el cuerpo están teniendo lugar simultáneamente innumerables hechos perfectamente coordinados. Estos hechos permiten funciones complejas, tales como oír, ver, respirar y procesar la información, para continuar sin un esfuerzo consiente. Si se levantan, pasan la puerta y corren alrededor de la manzana, casi la totalidad de los sistemas corporales tendrán que ponerse en acción, permitiendo pasar con éxito del reposo al ejercicio. Si se continúa esta rutina diaria durante semanas o meses e incrementan gradualmente la duración y la intensidad de la carrera, el cuerpo se adaptara, con lo que se podrá rendir más.

Durante los últimos siglos, un pequeño pero creciente grupo de científicos han centrado sus estudios en cómo la fisiología del cuerpo se ve alterada durante la actividad física y el deporte, utilizando innumerables innovaciones tecnológicas. De aquí se desprende la inquietud del autor por evaluar de una manera no invasiva, utilizando tecnología novedosa en el Estado Mérida, el Umbral Ventilatorio en atletas de triatlón; por ser unos de los deportes con grandes avances en el estado y por sus características de ser un deporte aeróbico, teniendo en cuenta que un factor determinante en su rendimiento es el umbral anaeróbico. De esta manera, este estudio estará destinado a valorar a los atletas de alto rendimiento de la selección de triatlón del estado Mérida, con la finalidad de utilizar nuevas herramientas para la planificación y ejecución del entrenamiento.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

Planteamiento del Problema

El ejercicio físico que se realiza con gran cantidad de musculatura activa, con un bajo desarrollo de fuerza, desencadena una serie de cambios en el organismo que facilitan su realización. Estos cambios pueden ser momentáneos o temporales, y desaparecer después del ejercicio. Sin embargo, cuando las variaciones permanecen en el tiempo, bien sea de la estructura, de la función, o ambas, facilitando una mejor respuesta al mismo estímulo, se habla de adaptaciones. La consecuencia de la adaptación biológica es que el organismo responde mejor al mismo estímulo, así desde el punto de vista estrictamente biológico, el objetivo del entrenamiento es la adaptación.

El proceso de entrenamiento en el deportista está sujeto a las mejoras fisiológicas. Estas mejoras, se traducen en una serie de procesos de síntesis protéica, amplificadas por las secreciones hormonales consecutivas al ejercicio, y a la recuperación, que suponen la respuesta adaptativa del organismo a las cargas de entrenamiento aplicadas. Cuando se realiza un ejercicio físico, la intensidad del mismo va a determinar la cantidad de energía necesaria por unidad de tiempo, y la vía o vías energéticas necesarias para la producción de dicha energía.

A medida que aumenta la intensidad del esfuerzo va aumentando también la cantidad de energía requerida por unidad de tiempo. Esto implica la posibilidad de que llegue un momento en que la actividad enzimática del sistema aeróbico no sea capaz de proporcionar por sí sola todo el flujo de energía necesario, por consiguiente, tendrá que intervenir la glucólisis anaeróbica, como fuente suplementaria de energía.

Este momento en el que interviene la glucólisis anaeróbica es denominado umbral del metabolismo anaeróbico (Wasserman y McIlroy, 1964, citados por López, C., Aznar, S., Fernández, V., López, M., Mulas, L., Pérez, R., 2004). En el intento de examinar la posibilidad de detectar la intensidad de ejercicio a partir de la cual el metabolismo anaeróbico comienza participar de manera importante en el aporte energético al músculo, con la finalidad de evitar intensidades de ejercicio agotadoras y potencialmente peligrosas en pacientes cardíacos. Estos autores con esta investigación, entran de lleno definitivamente en el estudio de la transición aeróbica-anaeróbica desde un punto de vista práctico y definen por vez primera el umbral anaeróbico (UA), que ellos denominaron entonces umbral de metabolismo anaeróbico.

En cuanto al significado de este umbral en ejercicio, es comúnmente aceptado que es uno de los mejores predictores de rendimiento en deportes con un alto contenido aeróbico. El porcentaje al que se sitúa con respecto al consumo máximo de oxígeno (VO_2 máx.). Pardo (2001), (citado por García, 2004), señala que el rendimiento durante el ejercicio submáximo está estrechamente relacionado con los factores que regulan la glucólisis en el músculo esquelético y concentración de lactato en sangre. Por consiguiente, los investigadores plantean que en la actualidad se han hecho estudios sobre las características fisiológicas en deportistas, dirigidos a valorar el máximo consumo de oxígeno, así como también el umbral anaeróbico para establecer parámetros de referencia sobre los cuales se apoyaran los

entrenadores, para la planificación y preparación del entrenamiento deportivo.

Estos estudios han utilizado numerosas técnicas y criterios que involucran métodos invasivos y no invasivos. Entre los más destacados se encuentran la medición de concentración de lactato en sangre (Beaver, 1985; Ivy, 1980; Kinderman, 1979), y de parámetros ventilatorios durante el ejercicio (Wasserman, 1978; Beaver, 1986) (citados por Edwards, Clark y Macfadyen 2003). El aumento del nivel de lactato sanguíneo que se produce en respuesta a los ejercicios de intensidad progresiva, los cambios ventilatorios que asocia, y la limitación funcional que comportan dichos cambios, han despertado un gran interés en médicos, preparadores físicos, entrenadores, deportistas y educadores en general durante la mayor parte del siglo pasado, hasta el punto de que pocas áreas de la ciencia de la educación física y el deporte han generado tanta literatura científica.

Los test de UA pueden ser utilizados para caracterizar los efectos del entrenamiento, evaluar la aptitud física y establecer la intensidad relativa del entrenamiento en deportes en los cuales el metabolismo aeróbico es de crucial importancia (Allen, 1985; Bishop, 1998; Brettoni, 1989), (citado por Edwards, y Col., 2003). Se ha sugerido, que en los deportes de resistencia, el umbral anaeróbico puede ser un mejor indicador de la resistencia aeróbica que el VO_2 máx., ya que el UA puede cambiar sin que se produzcan cambios en el VO_2 máx. (Allen, 1985; Bishop, 1998), (citados por Edwards, y Col., 2003).

En este orden de ideas, el deportista de alto rendimiento de resistencia es admirado desde muchas perspectivas. El triatlón no es la excepción, la realización de tres disciplinas deportivas como la natación, el ciclismo y la carrera exigen al atleta los límites de su resistencia y la práctica de las tres, hace más variado el entrenamiento. La metodología que se utilizó en el proceso de entrenamiento del triatlón en general esta orientada hacia el éxito competitivo; este tiene una base científica y se rige por leyes y principios que

indican el camino que determinará los pasos a seguir. Este alto nivel de exigencia física implica una ardua preparación, no solo para llevar al triatleta a su nivel óptimo de rendimiento, sino para aumentar su capacidad de resistencia a la fatiga.

En tal sentido, el atleta de triatlón que entrena cada día, exige de su entrenador que ese trabajo se convierta en resultados de competición. A su vez, el entrenador debería tener un fisiólogo del ejercicio que periódicamente examine a sus atletas, para comprobar que su entrenamiento consigue mejoras en el rendimiento de su organismo. Esto se denomina control del entrenamiento, que se traduce en control o medición de las adaptaciones del organismo a las cargas de entrenamiento; suele estar dividida en dos formas básicas de control, el control de laboratorio y el control mediante pruebas de campo. El control de adaptación mediante pruebas de laboratorio da una visión general del funcionamiento integrado de los diferentes sistemas de aporte, utilización y producción de energía por vía aeróbica, mientras que las pruebas de campo son fundamentalmente las más utilizadas.

El triatleta, bien preparado, supone un alto nivel de rendimiento físico en la competencia. Este alto nivel de rendimiento físico va a depender en gran parte de la atención que se les brinde a los indicadores fisiológicos, durante el entrenamiento por parte de personas calificadas, dirigida principalmente a optimizar resultados físicos y funcionales.

Para aplicar las pruebas de control es necesario que el entrenador conozca las características fisiológicas de sus deportistas y los sistemas de evaluación. Sin embargo, es difícil que los entrenadores de triatlón apliquen controles de laboratorio al entrenamiento dado que carecen de las herramientas necesarias y adecuadas para llevar a cabo esta tarea. Esto es un problema de los entrenadores sobre todo a nivel regional. En virtud a lo antes expuesto, Guerrero (1998 citado por Rondón, 2007), expresa que un especialista o un entrenador en el área, sin conocer los parámetros fisiológicos de sus atletas, no podrá aplicar adecuadamente las cargas de

trabajo fisiológico en la planificación del entrenamiento deportivo sobre una base científica, y esta quizás sea una de las razones que determina los resultados deportivos.

Por consiguiente, en base a este señalamiento surge la siguiente interrogante: ¿Cuál es el umbral ventilatorio de los triatletas de alta competencia de la selección del Estado Mérida? Entendiendo que, el éxito en las actividades de resistencia depende en gran medida de un valor elevado de consumo de oxígeno (VO_2), elevado umbral anaeróbico, alta economía del esfuerzo o bajo valor de VO_2 para el mismo ritmo de esfuerzo.

JUSTIFICACIÓN

En un principio, el umbral anaeróbico fue propuesto para la valoración funcional de pacientes cardiopatas en 1964 por Wasserman y McIlroy (Domingo, 2007), con el tiempo ha demostrado su utilidad también en la evaluación de pacientes con problemas respiratorios, y como coadyuvante en el diagnóstico diferencial entre pacientes cardiopatas y pulmonares. Habiendo resultado también útil en la validación de los resultados de diferentes intervenciones terapéuticas, y en medicina del trabajo, en el diagnóstico diferencial de dolencias que limitan la capacidad física (Weber y Col., 1982; Matsumura y Col., 1983; Singh, 2001; Clause, 1976; Ribero, 1985; Wasserman y Col., 2005, citados por Domingo, 2007).

Sin embargo, quizás donde mayor repercusión y aplicación ha tenido, ha sido en el ámbito de las ciencias del deporte, un hecho no considerado por Wasserman y McIlroy, cuando propusieron el término. Ello es debido a su importancia como indicador de la capacidad funcional y del nivel de resistencia aeróbica, tanto de individuos sanos y deportistas como de pacientes sometidos a programas de acondicionamiento físico (Meyert y Col., 2005, citado por Domingo, 2007). Así, como también, a su relación con el rendimiento en ejercicios de resistencia y su papel como punto de referencia

para la determinación y prescripción de las intensidades de trabajo, y para la valoración de los efectos de los programas de entrenamiento llevados a cabo (Jones y Carter, 2000; López, Calvo y Fernández, 2003; Svedahl y Macintosh, 2003; Meyert y Col., 2005, citados por Domingo, 2007).

La determinación del umbral anaeróbico proporciona un punto de referencia para la determinación de la intensidad de trabajo de los programas de entrenamiento. Si un entrenador o un atleta conocen el significado fisiológico del UA y de las consecuencias asociadas a la acidosis intracelular, estos pueden aplicar este conocimiento para el diseño de sus programas de entrenamiento. Así, en 1981 Hollmann y Col., (citado por Domingo, 2007), sugirieron que la mejora del rendimiento en pruebas de larga duración es mayor si la intensidad del entrenamiento es prescrita a partir del umbral anaeróbico en lugar de la frecuencia cardiaca máxima o del VO_2 máx.

En 1984 Wasserman (citado por López y Col., 2004), define el umbral anaeróbico, como el VO_2 medido durante el ejercicio, por encima del cual la producción aeróbica de energía es suplementada por mecanismos anaeróbicos. Esta hipótesis sugiere que en un momento metabólico determinado durante un ejercicio de tipo incremental, se alcanza un estado donde la demanda de oxígeno de los músculos metabólicamente activos es mayor que el aporte de oxígeno a la mitocondria. Este desbalance provoca un aumento de la conversión anaeróbica de piruvato a lactato en el citosol de la célula. Debido a su bajo pK, el ácido láctico se disocia casi completamente y los hidrogeniones (H^+) se amortiguan por el sistema bicarbonato fundamentalmente, el resultado es la formación extra de dióxido de carbono (CO_2), como consecuencia del tamponamiento de los hidrogeniones.

Wasserman y Col., en 1973 (citados por López y Col., 2004), sugirieron que estos acontecimientos provocan modificaciones en el intercambio gaseoso durante el ejercicio. Así, el CO_2 adicional producido por el tamponamiento del lactato, se añade al normalmente producido por el metabolismo aeróbico provocando un aumento en la producción del CO_2

(VCO_2) en el organismo, que mostrará un comportamiento no lineal respecto al consumo de oxígeno. Esto a su vez aumentará la ventilación pulmonar (VE) de manera desproporcionada respecto al VO_2 durante el ejercicio de tipo incremental. Estos cambios en el intercambio gaseoso, que se refleja en las variables VE, VCO_2 , VE/VO_2 y VE/VCO_2 , han sido utilizados como medios no invasivos de determinación de la transición aeróbica-anaeróbica durante el ejercicio. Debido a la posible confusión de terminología que puede generarse al hacer referencia al umbral anaeróbico cuando éste es calculado por medidas del intercambio gaseoso, se lo denomina umbral ventilatorio (UV).

La posibilidad de detectar la transición aeróbica-anaeróbica por metodología no invasiva ha impulsado un importante campo de investigación en el área de fisiología del ejercicio. Así, cardiólogos, fisiólogos pulmonares y fisiólogos del ejercicio (Matsumara y Col., 1983; Fairshter y Col., 1983; Calloso y Col., 1982; Farell y Col., 1979, citados por López y Col., 2004), encontraron de utilidad en sus respectivos campos de estudio la valoración del umbral anaeróbico evaluando los cambios producidos en el intercambio gaseoso.

En virtud de lo señalado, el análisis apropiado del umbral anaeróbico, mediante la determinación del umbral lactato (UL) o el umbral ventilatorio (UV), establece el perfil de acondicionamiento físico del atleta desde una perspectiva aeróbica y anaeróbica. Se puede usar este perfil para detectar las debilidades de acondicionamiento que impiden que el atleta rinda mejor en las competencias. Así mismo, define las prioridades de lo que necesita el atleta para entrenar. Por consiguiente, cada minuto que el atleta usa en el entrenamiento se enfoca en lo que verdaderamente necesita, evita las sesiones de entrenamiento que no son necesarias, y de ese modo minimiza el riesgo de lesionarse. De acuerdo al perfil de acondicionamiento físico de cada atleta, ciertos tipos de sesiones de entrenamiento serán más o menos eficaces. Además, el volumen y la intensidad del entrenamiento necesitan

encajar con este perfil de acondicionamiento. Por lo tanto los programas de entrenamiento serán adecuados a las características metabólicas de cada atleta.

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo general:

- Determinar el umbral ventilatorio 1 en la transición aeróbica-anaeróbica en un grupo de triatletas de alta competencia de la selección del Estado Mérida.

Objetivos específicos:

- Determinar el umbral ventilatorio 1 (UV1) en un grupo de atletas de Triatlón, del Estado Mérida, mediante el análisis del intercambio gaseoso.
- Determinar directamente el máximo consumo de oxígeno (VO_2 máx.) en un grupo de triatletas del Estado Mérida.
- Determinar la frecuencia cardiaca en relación directa con el umbral ventilatorio1 (UV1).
- Determinar el consumo de oxígeno (VO_2) en relación directa al umbral ventilatorio 1 (UV1).
- Estimar el umbral anaeróbico en un grupo de triatletas del estado Mérida, mediante concentración de lactato en sangre.
- Comparar el umbral anaeróbico estimado por medición de lactato, y el umbral ventilatorio 1 (UV1).
- Determinar la composición corporal en un grupo de triatletas del estado Mérida.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Antecedentes

García (2004), realizó una evaluación comparada de los parámetros fisiológicos en triatletas y ciclistas de élite, a lo largo de una temporada. Seleccionó 14 sujetos, divididos en dos grupos, (ciclistas n=8 ciclistas y triatletas n=6), para realizar el estudio. El porcentaje de grasa en el caso de los ciclistas a lo largo de la temporada descendió de 8.2% en la primera visita a 7.4% en la última visita, del mismo modo para los triatletas de un 8% en la primera visita a un 7.3% a la última visita. En ambos grupos observaron que el proceso de entrenamiento produce un descenso del porcentaje de grasa sin un descenso del peso magro.

Los resultados que obtuvo en cuanto a carga máxima y consumo de oxígeno, en ciclistas son significativamente mayores a los de los triatletas, para casi todos los controles, en carga máxima (≈ 450 Wat), VO_2 máx. (≈ 5.3 l·min), VO_2 relativo (≈ 78 ml/Kg/min) teniendo una mejora global de un 8% en su VO_2 máx., a lo largo de la temporada. Por su parte, los datos máximos del grupo de triatletas, con carga máxima (≈ 400 Wat), VO_2 máx. (≈ 4.9 l·min), VO_2 relativo (≈ 73 ml/Kg/min). Destaca, una mejora por encima de un 9% del VO_2 máx., entre la segunda y tercera toma de los datos.

Del mismo modo refiriéndose al umbral ventilatorio 1, concluye que el entrenamiento de los deportistas produce un desplazamiento positivo del UV1, es decir, valores mayores en cargas, FC, VO_2 , VCO_2 , VO_2 relativo, VE y % VO_2 máx. Los resultados están de acuerdo con las mejoras apreciadas en diferentes estudios a lo largo de una temporada de hasta un 6-10% para este primer umbral (O'Toole & Douglas, 1995; Rowlands & Downey, 2000, citados por García, 2004). El grupo de ciclistas, tras un mesociclo intenso en trabajo aeróbico, alcanzó valores de UV1 muy altos en cargas (≈ 252 Wat) y % VO_2 máx. ($\approx 60\%$). Mientras que el grupo de triatletas, tras un mesociclo de trabajo aeróbico, consiguió grandes mejoras en las variables mencionadas ($\approx 61\%$ VO_2 máx. y 221 Wat).

En otro estudio, Edwards (2003), estudió la potencia aeróbica máxima (VO_2 máx.) y el umbral anaeróbico (UA) como determinantes del nivel de entrenamiento entre jugadores de fútbol profesionales. Doce jugadores profesionales de sexo masculino de la 1era., División Británica (edad: 26 ± 3.3 años, masa corporal: 79.3 ± 9.4 kg.). Todos los sujetos completaron un test combinado para evaluar la potencia aeróbica y el umbral anaeróbico (UA) en dos ocasiones: 1er., test luego de 5 semanas de actividad de baja intensidad al final del período de transición y el 2do., test inmediatamente después de la finalización de la temporada de competencias. El UA fue valorado a través del umbral de lactato (UL) y del umbral ventilatorio (UV).

No se observaron cambios en el VO_2 máx., entre el test 1 y el test 2 (63.3 ± 5.8 ml/kg/min. vs. 62.1 ± 4.9 ml/kg/min., respectivamente), sin embargo la tolerancia al ejercicio (TE) en el VO_2 máx., se incrementó significativamente desde el test 1 al test 2 (204 ± 54 vs. 228 ± 68 s, respectivamente) ($p < 0.01$). El consumo de oxígeno en el UL se incrementó significativamente en el test 2 vs. el test 1 ($p < 0.01$). El UV también se incrementó significativamente ($p < 0.05$). No se observaron diferencias significativas en el VO_2 (ml/kg/min.), correspondiente al UL y al UV. Los

resultados de este estudio muestran que el VO_2 máx., fue un indicador menos sensible del nivel de entrenamiento en jugadores profesionales de fútbol que el UL o el UV.

De esta manera, llegaron a la conclusión, que aunque el VO_2 máx., puede ser un indicador útil de la capacidad aeróbica de los jugadores de fútbol de elite, su utilidad es limitada durante el proceso de monitoreo de los cambios en el nivel de entrenamiento y el esfuerzo máximo requerido para la valoración de este parámetro, puede ser que este no sea apropiado para ser utilizado durante la temporada competitiva. El UL o el UV de carácter submáximo pueden identificar cambios en el acondicionamiento aeróbico, sin embargo se debería esperar que test más específicos del fútbol, provean información de mayor utilidad en adición al UL o al UV.

Por otro lado, Sekir, Ozyener y Gur (s/f), realizaron un estudio para evaluar el efecto de la hora del día sobre la relación entre el umbral de lactato (UL) y el umbral ventilatorio (UV) del consumo de oxígeno pulmonar (VO_2). Siete hombres moderadamente activos (26.3 ± 3.0 años, 1.74 ± 0.08 m, 76 ± 5 kg.), se ofrecieron como voluntarios para realizar un test progresivo máximo (incrementos de 30W cada 2 min.), en un cicloergómetro en días consecutivos a las 0900h, 1400h y 1900h en orden aleatorio. El umbral anaeróbico se determinó utilizando tanto análisis de gases sanguíneos como mediciones del lactato sanguíneo. Cada una de las siguientes variables se recolectó tanto para el UV como para el UL: frecuencia cardíaca (HR latidos/min.), ventilación minuto (VE, L/min.), índice de intercambio respiratorio (RER), tiempo hasta el umbral (Time, segundos), consumo de oxígeno (VO_2 , ml/kg/min.) y VO_2 como porcentaje del consumo máximo de oxígeno ($\%\text{VO}_2\text{máx}$).

No hallaron diferencias significativas para los datos en relación a la hora del día tanto para el análisis de los gases ventilatorios como para las mediciones del lactato. Los coeficientes de correlación entre las variables del

UV y del UL fueron moderadas a altas ($r = 0.56 - 0.94$) para la hora del día. Sin embargo, las correlaciones para la HR, VO_2 , y $\%VO_{2\text{máx}}$ ($r = 0.81 - 0.94$) fueron ligeramente mayores en comparación con el Tiempo, VE y RER ($r = 0.56 - 0.88$). Se concluyó que, los datos del UV y del UL no están influenciados por la hora del día. A partir de los resultados de esta investigación es pertinente señalar que: Los valores de las variables seleccionadas y relacionadas con el umbral calculado mediante dos métodos no son influenciadas por la hora del día. La fortaleza de las correlaciones entre el UV y el UL fueron mayor para la frecuencia cardíaca y el VO_2 y la fortaleza de las correlaciones no fue influenciada por la hora del día. Y los valores de las variables seleccionadas fueron significativamente diferentes entre el UV y el UL para todas las horas utilizadas en el presente estudio.

Según Cundiff (citado por García, y Herrero, 2003), el parámetro fundamental para rendir en el triatlón es el tiempo en que deportista es capaz de mantener un consumo de oxígeno cercano al máximo. Cuanto mayor sea este tiempo, mayores posibilidades tendrá el triatleta de triunfar. Del mismo modo Sleivert y Rowlands en 1996 (citados por García y Herrero, 2003), indican que el VO_2 máx., es un predictor del rendimiento en triatletas de habilidades mixtas, debiendo guardar precaución al usarlo con grupos homogéneos de triatletas de alto nivel.

Por otro lado, en 1987 Ballesteros (citado por García, y Herrero, 2003), indica que un triatleta con un consumo de oxígeno inferior a 50 ml/kg/min., difícilmente podrá desenvolverse bien en este deporte. Según este autor, los triatletas de nivel internacional poseen consumos de oxígeno que rondan los 75 - 80 ml/kg/min. Como muestra de la importancia de este factor basta con echar un vistazo a los datos publicados por Laurenson y Col., en 1993 (citados por García y Herrero, 2003), que compararon el VO_2 máx. de triatletas de élite con el de triatletas amateurs, siendo significativamente mayor ($p < 0,05$) el de los primeros.

Por otra parte, Carey, Schwarz, Pliego, y Raymond (s/f), en un estudio para valorar la confiabilidad y validez del punto de quiebre en la frecuencia respiratoria (RR), determinado durante un test de ejercicio progresivo como marcador del umbral anaeróbico (UA). Los objetivos secundarios fueron: valorar la confiabilidad del umbral ventilatorio (UV) y del punto de quiebre en el umbral ventilatorio (VE/VO_2), y valorar las diferencias en estos 3 métodos respecto de su potencial para valorar cambios en la aptitud física, a través del error estándar de medición (EEM), el coeficiente de variabilidad (CV), y el coeficiente de correlación (r).

Para esto, quince ciclistas competitivos de sexo masculino (5 de categoría II, 6 de categoría III, 1 de categoría IV y 3 de categoría V, de la Federación de Ciclismo de los Estados Unidos), completaron 2 test para la medición del consumo máximo de oxígeno en el período de una semana en un cicloergómetro con cupla electromagnética. Los resultados del análisis de varianza ANOVA 2×3 (tests y métodos) mostraron que no hubo diferencias significativas ($F = 0.02$, $p = 0.978$), indicando que: los tres métodos son reproducibles, y el RR, en comparación con el UV y el VE/VO_2 , es un método válido para valorar el umbral anaeróbico. Los menores valores de EEM, CV y el mayor r fueron obtenidos con el método del UV (EEM = 19.4 watts, CV = 6.7%, $r = 0.872$), con comparación los métodos VE/VO_2 (EEM = 21.5 watts, CV = 7.4%, $r = 0.811$) y RR (EEM = 35.3 watts, CV = 12.2%, $R = 0.800$). A partir de los resultados en este estudio se concluyó que el método de medición de la RR es un método válido y confiable para detectar el UA.

Sin embargo, debido a su relativamente alto EEM y CV, y bajo r , en comparación con los métodos UV y VE/VO_2 , su poca sensibilidad para detectar pequeños cambios en atletas con un alto nivel de aptitud física, podría contraindicar su uso para medir cambios en el UA. Al parecer los métodos VE y VE/VO_2 podrían ser más apropiados para medir cambios en el UA en atletas con un alto nivel de aptitud física.

Bases Teóricas

Para comprender los resultados y las conclusiones de la presente investigación, es necesario presentar un análisis de un conjunto de elementos conceptuales relacionados con el estudio del umbral ventilatorio, umbral anaeróbico y atletas de triatlón. Por tal motivo, a continuación se presentan las diversas bases teóricas que sirven de marco conceptual para el trabajo.

El Triatlón

El Triatlón es una modalidad deportiva relativamente moderna. Se puede situar el origen de este deporte en Hawaii (EE.UU.), a finales de los años 70. Allí, dos capitanes de marines lanzaron un desafío: realizar, de forma consecutiva, las tres pruebas más duras de la isla de Hawai: la "Waikiki Rough Water Swim" (3,8 Km a nado), la "Around the Island Bike Race" (180 Km en bicicleta) y el "Honolulú Marathon" (42,195 Km de carrera a pie). Así es como en 1978 se celebraba el primer Ironman (Ballesteros, 1987, citado por García y Herrero, 2003), y por lo tanto, la primera prueba reconocida de triatlón.

De esta manera en 1989, se crea la I.T.U. (International Triathlon Union), un año clave en la evolución de este deporte a nivel internacional. Desde ese año rige el destino internacional del triatlón (Ehrler, 1994, citado en García y Herrero 2003).

En Venezuela se realiza la primera competencia de triatlón el 27 de febrero de 1983, organizada por la Dirección de Deportes del Centro Social, Cultural y Deportivo Hebraica. A partir de esa histórica fecha, comenzó el auge de triatletas en Venezuela, consecuencia de innumerables competencias en esta especialidad. En 1996 se constituye la Federación Venezolana de Triatlón (FEVETRI). La popularidad creciente de esta

especialidad se ha visto culminada en la Olimpiada de Sydney 2000, donde el triatlón ha sido por primera vez deporte olímpico.

El triatlón es un deporte individual, combinado y de resistencia que consta de tres segmentos: natación, ciclismo y carrera a pié. El orden es el señalado y el cronómetro no se para durante las transiciones que componen el conjunto de la competición. El ganador es el deportista que menos tiempo invierte tras la suma de los tres segmentos.

Las distancias que se recorren en cada segmento varían en función de la modalidad. La ITU reconoce tres modalidades:

- Sprint: 0,75 Km. (nado), 20 Km. (ciclismo), 5 Km. (carrera).
- Olímpico: 1,5 Km. (nado), 40 Km. (ciclismo), 10 Km. (carrera).
- Larga: 3,8 Km. (nado), 180 Km. (ciclismo), 42 Km. (carrera).

Existen otras modalidades, como la media distancia (2/80/20), y el triatlón de invierno (donde el segmento de natación se sustituye por esquí de fondo), (Chavaren y Col., 1996; Castellar, 1999, citados en García y Herrero, 2003).

El hecho de que el cronómetro no se pare desde el comienzo del segmento de natación hasta el final de la prueba, hace que las transiciones sean un elemento fundamental a tener en cuenta a la hora de planificar el entrenamiento. El primer segmento es la natación, que se realiza en aguas abiertas (playas, lagunas, etc.). Cuando la temperatura del agua está por debajo de los 16°C, es obligatorio el uso de trajes de neopreno por cuestiones de seguridad. Cuando la temperatura supera los 22°C no se permite el uso de estos trajes.

Una vez en los boxes, tras la prueba de natación, es obligatorio ponerse el casco antes de montar la bicicleta. Dentro de los boxes no está permitido circular subido en la bicicleta, por lo que hay que correr con ella de la mano hasta salir de la zona de transición (Quesada, 2000, citado en García y Herrero, 2003). En el tramo de ciclismo se impide que el deportista reciba cualquier tipo de ayuda externa, aspecto que obliga al participante a tener

que solventar él mismo los problemas técnicos que pudiera tener durante la prueba.

La carrera a pie es una prueba de fondo donde tampoco se permite ningún tipo de ayuda externa. Existen provisiones de agua y sólidos durante todo el recorrido de competición. Los boxes son lugares cerrados donde tienen lugar las transiciones, pudiendo existir una o dos áreas de transición (de natación a ciclismo y de ciclismo a carrera a pie).

En primer lugar, dadas las características de esta disciplina, la capacidad de rendimiento del atleta va a estar determinada por la capacidad aeróbica del organismo. Esto quiere decir que el entrenamiento ha de procurar al deportista una gran capacidad aeróbica, promoviendo los cambios necesarios para permitir mantener una tasa metabólica aeróbica elevada durante el esfuerzo (Releer 1994; Chavaren y Col., 1996, citado en García y Herrero, 2003).

Partiendo de la base de que la resistencia aeróbica, juega un papel fundamental, conviene conocer los factores que determinan esta capacidad: capacidad de suministro de oxígeno a la musculatura y capacidad de utilización del oxígeno por parte de los músculos implicados. En el año 2000 Gil Fraguas y Col. (citado en García y Herrera, 2003), indican los factores decisivos para el rendimiento en las tres modalidades de triatlón (sprint, olímpico y largo), teniendo en cuenta que cada una conlleva un tipo distinto de resistencia específica.

Los factores que determinan estos autores son los siguientes:

- Elevación del VO_2 máx.
- Elevación del Umbral Anaeróbico.
- Mejorar la tolerancia a la acidez ante valores medios de lactato.
- Incrementar los depósitos de glucógeno muscular y hepático.
- Mejora de la oxidación de las grasas.
- Atención a la termorregulación y equilibrio hídrico y electrolítico.

- Aporte continuo de alimentos y líquidos.
- Resistencia del tejido ligamentoso y tendinoso.

De este modo el triatlón se caracteriza por ser uno de los deportes más exigentes que existen en el panorama competitivo internacional actual. Los deportistas que lo practican mantienen un severo calendario de entrenamientos para poder hacer frente a las exigentes condiciones de las pruebas, tanto físicas como psicológicas. Desde su fundación, el triatlón ha crecido significativamente y en la actualidad incluye miles de carreras con cientos de miles de competidores en todo el mundo cada año.

Umbral Anaeróbico

Desde que en 1871 Hermann (citado por López y Col., 2004), observara que un músculo podía contraerse durante un tiempo prolongado sin necesidad de un aporte suplementario de oxígeno y mas tarde, Fletcher y Hopkins, en 1906 (citados por López y Col., 2004), demostraran que el músculo esquelético es capaz de desarrollar trabajos musculares específicos sin necesidad de un aporte de oxígeno; numerosos estudios se han desarrollado hasta la fecha tratando de aclarar las bases fisiológicas del metabolismo muscular en condiciones de déficit de oxígeno y la llamada transición aeróbica-anaeróbica.

Se destaca entre las investigaciones clásicas más relevantes, los trabajos de Meyerhof en 1911 (citado por López y Col., 2004), en las que deduce la existencia de una fase aeróbica y de otra anaeróbica durante la contracción muscular. Mas tarde, Douglas en 1927 (citado por López y Col., 2004), se aproximó al concepto actual de umbral anaeróbico, deduciendo de sus investigaciones, que se podían desarrollar cargas progresivas de trabajo sin que llegara a acumularse el ácido láctico en sangre, pero que una vez que se alcanzaba una determinada intensidad de ejercicio la concentración de lactato en sangre comenzaba a elevarse de forma progresiva. Además, este

autor afirmó que la formación de ácido láctico en los músculos activos estaba determinada por la disponibilidad o no de oxígeno por parte de dichos músculos.

De esta misma manera Owles en 1930 (citado por López y Col., 2004), observó que era posible desarrollar ejercicio de intensidad moderada sin que aumentara la concentración de lactato en sangre, pero que por encima de una intensidad de ejercicio, única para cada persona, se producía un incremento progresivo en dichas concentraciones. Así pues, fue este el primer autor en establecer la existencia de un nivel metabólico crítico, más tarde denominado punto de Owles, por encima del cual se producía el aumento de la concentración de lactato en sangre. Esta investigación también describió la asociación entre la tasa de incremento de lactato en sangre y la disminución de la concentración de bicarbonato plasmático (H_2CO_3), manifestación de la instauración de una acidosis metabólica causada por el ejercicio de alta intensidad.

Hay que resaltar el trabajo de Wasserman y McIlroy en 1964 (citados por López y Col., 2004), en el que examinan la posibilidad de detectar la intensidad de ejercicio a partir de la cual el metabolismo anaeróbico comienza a participar de manera importante en el aporte de energía al músculo, con la finalidad de evitar intensidades de ejercicio agotadoras y potencialmente peligrosas en pacientes cardíacos. Sugieren estos autores, que el inicio del metabolismo anaeróbico que acontece durante el ejercicio puede ser detectado por tres vías:

- Incremento de la concentración de lactato en sangre.
- Descenso de la concentración arterial de bicarbonato y del pH.
- Aumento del cociente respiratorio (R).

En concreto, Wasserman y McIlroy (1964), (citados por López y Col., 2004), con esta investigación, entran de lleno en el estudio de la transición aeróbica-anaeróbica desde un punto de vista práctico y definen por vez primera el umbral anaeróbico, que ellos denominaron entonces umbral de metabolismo anaeróbico, como la carga de trabajo o consumo de oxígeno a partir de la cual se comienza a instaurar un estado de acidosis metabólica y ocurren cambios asociados en el intercambio gaseoso.

Umbral Ventilatorio

La primera aproximación al umbral ventilatorio (UV), fue en 1927 por Heymans y Heymans (citados por López y Col., 2004), donde las concentraciones de lactato en sangre mostraban una gran correlación con la intensidad de la ventilación pulmonar. Más tarde en 1964 Wasserman y McIlroy (citados por López y Col., 2004), al sugerir que el inicio del metabolismo anaeróbico puede ser detectado por el aumento del cociente respiratorio (R), argumentando que al conocer mediante el estudio del comportamiento de R (VCO_2/VO_2), cuando se inicia una importante participación del metabolismo anaeróbico durante un ejercicio de intensidad progresivamente creciente. Así, cuando enfrentan R y VO_2 durante un ejercicio obtienen un perfil que muestra un descenso de R en las cargas iniciales de ejercicio, seguido de un aumento progresivo a partir de una determinada carga de trabajo.

La mayor pendiente de la curva indica la tasa de VO_2 en la que la contribución del metabolismo anaeróbico comienza a ser importante; este punto se corresponde con el momento en que la concentración arterial de bicarbonato desciende y la de lactato aumenta, reflejando precisamente la participación de la glucólisis anaeróbica en los procesos metabólicos de obtención de energía. Las bases fisiológicas de la detección durante el ejercicio del umbral ventilatorio, se harán en referencia a modelos propuestos

de la transición aeróbica-anaeróbica, así como a distintas respuestas del intercambio gaseoso que acontecen en el ejercicio.

Ya para 1984 Wasserman (citado por López y Col., 2004), define el umbral anaeróbico como punto en que el VO_2 medido durante el ejercicio, ésta por encima de la producción aeróbica de energía, la cuál es suplementada por mecanismos anaeróbicos. Esta hipótesis sugiere que en un momento metabólico determinado durante un ejercicio de tipo incremental se alcanza un estado donde la demanda de oxígeno de los músculos metabólicamente activos es mayor que el aportado a la mitocondria. Este desbalance provoca un aumento de la conversión anaeróbica de piruvato a lactato en el citosol de la célula. Debido a su bajo pK, el ácido láctico se disocia casi completamente y los hidrogeniones (H^+), que se amortiguan por el sistema bicarbonato fundamentalmente, el resultado es la formación extra de dióxido de carbono (CO_2), como consecuencia del tamponamiento de los hidrogeniones.

Wasserman y Col., en 1973 (citados por López y Col., 2004), defienden que estos acontecimientos provocan modificaciones en el intercambio gaseoso durante el ejercicio. Así, el CO_2 adicional producido por el tamponamiento del lactato, se añade al normalmente producido por el metabolismo aeróbico provocando un aumento en la producción del CO_2 (VCO_2) en el organismo, que mostrará un comportamiento no lineal respecto al consumo de oxígeno (VO_2). Esto a su vez aumentará la ventilación pulmonar (VE) de manera desproporcionada respecto al VO_2 durante el ejercicio de tipo incremental. Estos cambios en el intercambio gaseoso, que se refleja en las variables VE, VCO_2 , VE/VO_2 y VE/VCO_2 , han sido utilizados como medios no invasivos de determinación de la transición aeróbica-anaeróbica durante el ejercicio.

En 1980 Skinner y Mclellan (citados por Domingo, 2007), propusieron un modelo trifásico que describiera la transición del metabolismo aeróbico al anaeróbico durante los ejercicios incrementales. Según el mismo, se puede

estructurar en tres fases o etapas el transcurrir metabólico desde el estado de reposo al ejercicio de máxima intensidad. Estas fases son:

- Fase I. Amortiguación celular del lactato, con aumento de la producción de CO_2 (VCO_2) en relación al consumo de oxígeno (VO_2).
- Fase II. Incremento de la ventilación pulmonar (VE) proporcionalmente al aumento del VCO_2 , mientras que la presión arterial de dióxido de carbono (PaCO_2) se mantiene relativamente constante (“isocapnic buffering”).
- Fase III. Compensación respiratoria de la acidosis metabólica, con descenso de la PaCO_2 .

Según dicho modelo, durante la realización de ejercicio de baja intensidad (fase I) aumenta la cantidad de oxígeno extraída de los tejidos ($\uparrow\text{VO}_2$), y como consecuencia existirá una menor concentración fraccional de oxígeno en el aire espirado ($\downarrow\text{FEO}_2$). Además, la tasa de producción de CO_2 (VCO_2) aumenta moderadamente (derivada del metabolismo aeróbico), con lo que se elevará la concentración fraccional de este gas en el aire espirado ($\uparrow\text{FECO}_2$) mientras que la relación $\text{VO}_2\text{-VCO}_2$ se mantiene lineal. Ya que en esta fase existe poca producción de lactato se puede afirmar que la producción de ATPs necesarios para soportar el trabajo realizado proviene fundamentalmente del metabolismo aeróbico u oxidativo (fase I ó aeróbica), (citado por Domingo, 2007).

A medida que la intensidad del ejercicio aumenta y una vez alcanza una intensidad de alrededor de 60% del VO_2 máx., se comienza a reclutar en una cuantía importante las fibras musculares más glucolíticas (tipo II), por lo que se puede observar un incremento en la concentración de lactato en sangre (umbral láctico) que corresponde aproximadamente al doble del valor de reposo (2 mmol.l). La participación más marcada del metabolismo anaeróbico en la obtención de energía justifica la denominación de Fase II o aeróbica-

anaeróbica, (citado por Domingo, 2007). Los H^+ producidos como consecuencia de la disociación del ácido láctico son amortiguados casi en su totalidad por el sistema del bicarbonato, produciendo como consecuencia un aumento continuo en el $FECO_2$, manteniendo estable el equilibrio ácido base.

Por otra parte, el centro respiratorio es estimulado para aumentar la ventilación pulmonar lo que provocará un aumento del $\uparrow VCO_2$, compensación respiratoria que resulta razonablemente efectiva ya que las concentraciones de lactato en sangre, aunque elevadas, son controladas por los sistemas de aclaración del mismo. Teniendo en cuenta que el organismo no puede consumir más oxígeno que el necesario para reemplazar el ATP utilizado durante el trabajo realizado, la ventilación pulmonar extra dará como resultado una menor extracción de oxígeno por volumen de aire ventilado, obteniéndose como consecuencia un aumento de la FEO_2 , (citado por Domingo, 2007).

Por consiguiente en esta fase II, el aumento del VO_2 permanece relativamente lineal, mientras que el incremento de la VCO_2 se acelera como consecuencia de la amortiguación del ácido láctico (H^+) por el bicarbonato. Así, en esta etapa definida como fase II por Skinner y Mclellan (citados por Domingo, 2007), se puede observar un aumento no lineal en la ventilación pulmonar respecto al VO_2 , un aumento en la FEO_2 sin una disminución adicional en la $FECO_2$, y una elevación de las concentraciones de lactato en sangre respecto a los niveles de reposo (2 mmol·l).

Ya que la tasa de incremento del VO_2 permanece lineal, mientras que la ventilación pulmonar y el CO_2 se incrementan de forma acelerada, el equivalente ventilatorio para el oxígeno (VE/VO_2), que permanece inalterable o incluso disminuye en la Fase I, comienza a elevarse en la fase II sin un incremento en el VE/VCO_2 .

Por último, con una concentración creciente de lactato al superar la producción los procesos de aclaramiento (Fase III), se rompe el equilibrio ácido base y el pH comienza a descender debido a que los sistemas

amortiguadores no son capaces de tamponar los H⁺ producidos en la disociación del ácido láctico. Entonces se intensifica aún más la ventilación pulmonar, ahora desproporcionalmente respecto a la VCO₂, al recibir el centro respiratorio estímulos por la acidosis metabólica progresiva. Llegados a este punto el aumento de la VE trata de compensar la acidosis metabólica mediante la eliminación de CO₂, lo que ocasionará un descenso de la PaCO₂ (compensación respiratoria de la acidosis metabólica, citado por Domingo, 2007).

En esta fase es posible observar un descenso en la FECO₂, mientras que la FEO₂ continua aumentando, lo que significa que se podrá obtener un aumento de los valores del VE/VCO₂ que hasta entonces había permanecido relativamente estable. En resumen, la respuesta es esta Fase III (aeróbica-anaeróbica) está caracterizada por un aumento continuado de la concentración de lactato en sangre (4 mmol·l), una disminución de la FE CO₂ y una marcada hiperventilación.

En resumen, la mayoría de los autores asumen que el incremento de la VE en el llamado umbral ventilatorio 1 (UV1) es causado por un aumento de la concentración arterial de lactato (La) por encima de los niveles de reposo, y sirve para eliminar el exceso de CO₂ derivado de la amortiguación por el bicarbonato de la acidosis metabólica y para mantener la homeostasis de la PaCO₂. Un mayor incremento en la tasa de trabajo por encima del UV1 provoca un aumento desproporcionado de la VE en relación al VCO₂, que se asocia a un aumento del VE/VCO₂ y un descenso de la PaCO₂, que se ha descrito como una compensación respiratoria de la acidosis metabólica arterial (Wasserman y Col., 1973, 1979, 1994; Whipp y Col., 1989, citados por López y Col., 2004).

El punto de inicio de esa compensación respiratoria se denomina umbral ventilatorio 2 (UV2) ó punto de compensación respiratoria. Aunque los mecanismos que controlan el UV1 y el UV2 son controvertidos, ambos umbrales están íntimamente ligados al estado ácido-base durante el ejercicio

incremental (Ahmaidi y Col., 1993; Ribiero y Col., 1986; Wasserman y Col., 1973, 1979, 1994; Whipp y Col., 1989; Lucia y Col., 1998; McLellan, 1985; citados por López y Col., 2004).

Metodología de Determinación del Umbral Ventilatorio

La metodología utilizada para determinar el umbral ventilatorio (UV) ha ido refinándose progresivamente, al mejorar el entendimiento de la fase de transición aeróbica anaeróbica durante el ejercicio. Así, al principio Davis y Col., en 1976 (citados por López y Col., 2004), utilizaban la pérdida de linealidad de la ventilación (VE) frente al VO_2 , junto con el abrupto incremento del cociente respiratorio (R). A pesar de la validez de esos parámetros para determinar el UV hoy día no se consideran óptimos, debido a que a menudo resulta dificultoso definir el valor del VO_2 en el que la VE, VCO_2 y R comienzan a incrementarse más rápidamente.

Hace tiempo se observó que podía obtenerse una detección más objetiva del UV, utilizando variables que decrecieran o se mantuvieran relativamente inalterables en intensidades bajas moderadas de ejercicio, antes de comenzar a elevarse Davis (1985, citado por López y Col., 2004). Dos variables cumplen dichas características durante un ejercicio de tipo incremental: el VE/VO_2 y la presión parcial de oxígeno del aire final de la espiración (PETO_2). Estos dos parámetros disminuyen durante las primeras fases de ejercicio en un test incremental, y a medida que la intensidad de ejercicio aumenta se puede observar un cambio objetivo de tendencia con una elevación continuada y simultánea en sus valores. En 1978 Wasserman (citados por López y Col., 2004), demostró que durante la realización de ejercicios incrementales, la VE y el VCO_2 aumentaban en la misma cuantía durante las primeras cargas de trabajo después de haber sobrepasado el umbral láctico (Fase II). Así, el VE/VCO_2 permanecerá estable durante algunos cargas de trabajo superiores a la detección del umbral láctico,

indicando con ello que la PaCO_2 no se altera en la región (Fase II) donde supuestamente acaece el tamponamiento de los H^+ derivados de la disociación del ácido láctico (de ahí el término de “isocapnic buffering”).

Por consiguiente parece que el criterio del incremento del VE/VO_2 durante un test incremental, sin un aumento del VE/VCO_2 es el método más específico y el que menos errores de detección provoca en la determinación del umbral ventilatorio UV. Este umbral ventilatorio refleja el momento de transición de la fase I a la fase II, está fisiológicamente relacionado con el umbral láctico y se le denomina más apropiadamente umbral ventilatorio 1 (UV1).

A mayores intensidades de ejercicio, la participación del sistema glucolítico de obtención de energía es cada vez más importante, lo que se traduce en un aumento progresivo de la producción de lactato por parte de los músculos activos. Cuando el equilibrio (fase II) producción-aclaramiento de lactato se rompe (Fase III; máximo estado estable del lactato) a favor de la producción, el lactato se acumulará en sangre y se instaurará progresivamente una acidosis metabólica. Pues bien, el análisis del intercambio gaseoso durante un test incremental permite la detección de esta transición metabólica Fase II \rightarrow Fase III. Así, el descenso del pH debido a la imposibilidad de los sistemas tampón de amortiguar los H^+ producidos en la disociación del ácido láctico, provoca un nuevo aumento desproporcionado de la VE, que además rompe la relación lineal con la VCO_2 , lo que significa que se podrá observar un aumento del VE/VCO_2 que en la Fase II permanecía estable. Además la PETCO_2 comenzará a descender al igual que la FECO_2 . Estos criterios ($\uparrow \text{VE}/\text{VCO}_2 + \downarrow \text{PETCO}_2$ ó $\downarrow \text{FECO}_2$) permiten la determinación por medio del análisis del intercambio gaseoso de la transición metabólica Fase II a Fase III, denominándose umbral ventilatorio 2 (UV2), (citado por Domingo, 2007).

En base a lo anterior, las técnicas de detección del intercambio de gases respiratorios más a menudo utilizadas, involucran determinaciones de puntos

de inflexión de las respuestas de la ventilación, la VCO_2 , el cociente respiratorio (R), el VE/VO_2 , el VE/VCO_2 la $PETO_2$ y la $PETCO_2$. Entonces se podría definir el UV1 como la intensidad de ejercicio correspondiente con una inicial pérdida de la linealidad de la VE, junto con el inicio del aumento continuado del VE/VO_2 y de la FEO_2 ó $PETO_2$. Por su parte, UV2 puede ser determinado por un segundo cambio no lineal de la VE y del VE/VO_2 , junto con un marcado aumento continuado del VE/VCO_2 y un descenso continuo de la $FECO_2$ o de la $PETCO_2$, más allá del punto de determinación del UV1, (citado por López y Col., 2004).

Metodología de Beaver

Beaver y Col. (1986), (citados por López y Col., 2004), desarrollaron una técnica para valorar el UV1 durante ejercicios de tipo incremental, determinando simultáneamente el VO_2 y el VCO_2 alveolares (final de la espiración) respiración a respiración. Esta técnica se conoce como "V-slope", ya que mide volúmenes de CO_2 en relación con el VO_2 , a medida que aumenta la intensidad de ejercicio. El VO_2 es una variable independiente que mide directamente el metabolismo aeróbico y el VCO_2 por debajo del umbral láctico aumenta linealmente con el VO_2 . Pero a mayores intensidades de ejercicio, la pendiente se incrementa debido al VCO_2 añadido y generado por la amortiguación del ácido láctico por el bicarbonato. Este segundo componente en la relación $VO_2 - VCO_2$ es también lineal. El punto de la gráfica en el que se produce la modificación de la pendiente y que corresponde a la transición en la relación $VO_2 - VCO_2$ es, de acuerdo con éstos análisis, el umbral ventilatorio 1 (UV1). La exactitud del método V-slope ha sido evaluado y contrastada comparando los resultados obtenidos con los del UV evaluado mediante la metodología de los equivalentes respiratorios o con el umbral láctico (Beaver y Col., 1986, citados por López y Col., 2004).

La mayoría de los programas automatizados seleccionan automáticamente el UV mediante esta metodología.

Para el 2001 Gaskill y Col., (citados por López y Col., 2004), estudiaron la validez de una combinación de metodología para determinar el umbral ventilatorio (UV). Tres métodos fueron utilizados de forma individual y luego combinados para determinar el UV como sigue: Equivalentes ventilatorios; Exceso de VCO_2 ($(VCO_2 / VO_2) - VCO_2$) y V-slope. Llegando a la conclusión, que el método combinado para determinar el UV es válido y fiable en su aplicación a individuos sanos y mejora la tasa de determinación y la exactitud del UV en relación a la metodología de determinación con un sólo método.

Consumo Máximo de Oxígeno

El mejor indicador de la capacidad aeróbica es el consumo máximo de oxígeno ($VO_{2m\acute{a}x.}$). El consumo máximo de oxígeno es la capacidad máxima para usar el oxígeno en un minuto de actividad física; en otras palabras, es la cantidad de oxígeno que el cuerpo humano utiliza en un minuto de actividad física máxima (Hoeger, 2005). Este valor comúnmente se expresa en términos absolutos en litros por minuto (lts/min) o un valor relativo en mililitros por kilogramo por minuto (ml/kg/min). La segunda forma es más utilizada, ya que toma en cuenta la masa corporal total (peso). El consumo máximo de oxígeno es una expresión objetiva de la aptitud cardiorrespiratoria de una persona.

La medición directa o la estimación indirecta de este parámetro permite cuantificar de alguna manera el metabolismo energético, ya que el oxígeno permite la transformación de la energía química (contenida en los carbohidratos, grasas y proteínas) en energía mecánica (contracción muscular). En estado de reposo absoluto una persona consume aproximadamente 3,5 ml de oxígeno por kilogramo de peso corporal por

minuto. A este valor se le denomina 1 MET o unidad metabólica y refleja el gasto energético que precisa el organismo para mantener sus funciones vitales (López y Fernández, 1998, citados por Hoeger, 2005). El consumo de oxígeno es una expresión directa de las necesidades metabólicas del organismo en un momento dado.

Ácido Láctico

En 1998 según Fox (citado por Rondón, 2007) el lactato es un ácido natural orgánico, es el subproducto final de la descomposición incompleta de la glucosa en ausencia de oxígeno, proceso que se conoce como glucólisis anaeróbica. El término glucólisis se refiere a la degradación de la glucosa a ácido pirúvico. En este sistema la degradación parcial de los hidratos de carbono provee la energía necesaria a partir de la cual se elabora el ATP. En presencia de cantidades suficientes de oxígeno el ácido pirúvico es oxidado a CO_2 y H_2O . Cuando la demanda de energía a partir del ATP supera la velocidad glucolítica oxidativa el ácido pirúvico se convierte transitoriamente en ácido láctico.

El ácido láctico ($\text{CH}_3\text{-CHOH-COOH}$) es uno de los productos finales de la glucólisis. En contra de lo clásicamente propuesto, el ácido láctico no se produce únicamente en situaciones de falta de disponibilidad de O_2 , sino que lo hace de forma continua y permanente como consecuencia directa del aumento de la tasa metabólica (VO_2) y de la actividad enzimática de la glucólisis anaeróbica (Brooks y Col., 2000, citados por López y Col., 2004).

Cuando los requerimientos energéticos son muy altos, la única forma que tiene el organismo de suministrar rápidamente esa energía es por medio de la glucólisis anaeróbica, siendo el porcentaje aeróbico mínimo. Por lo que prácticamente todo el ácido láctico es acumulado en el organismo. De seguir a esa intensidad en menos de dos minutos la acumulación láctica impedirá la continuación del ejercicio.

La fama del ácido láctico viene dada por que cuando la intensidad del ejercicio es tan alta que la mayor parte de la energía se obtiene por la vía anaeróbica láctica, el organismo no es capaz de utilizar este compuesto y lo acumula en los músculos y en la sangre. Si la intensidad se mantiene, la cantidad de lactato en la sangre llegará a extremos de cambiar el pH intracelular impidiendo el intercambio de iones y llegando a la fatiga muscular total. Impidiendo la continuación del ejercicio.

De esta manera, en el año 2000 Gladden (citado por Rondón, 2007), expresa que las respuestas del ácido láctico al ejercicio han sido utilizadas para evaluar la capacidad aeróbica de individuos sedentarios, activos y atletas entrenados, por ser un parámetro de tipo metabólico, y un residuo de la transformación de nutrientes en energía, es utilizable en todas las personas sin importar el nivel o experiencia de las mismas.

Métodos de Determinación de la Transición Aeróbica-Anaeróbica Mediante Análisis del Lactato.

El umbral láctico en 1980 fue definido por Ivy y Col., (citados por López y Col., 2004.) como la intensidad de ejercicio o consumo de oxígeno que precede inmediatamente al incremento inicial y continuo del lactato sanguíneo desde los valores de reposo. En base a esta definición, cabe esperar que un ejercicio realizado a carga constante correspondiente al umbral láctico, pueda ser soportado durante un tiempo prolongado por el metabolismo aeróbico fundamentalmente, lo que se tendrá que traducir en ausencia de modificaciones de las concentraciones sanguíneas de lactato. El umbral láctico (UL) se determina enfrentando las concentraciones sanguíneas de lactato al VO_2 o a la intensidad de ejercicio (velocidad ó W) desarrolladas durante un test de esfuerzo incremental con escalones de trabajo de al menos 3 minutos de duración. El mayor valor de VO_2 o de intensidad de ejercicio que se obtiene antes del aumento progresivo de la

concentración de lactato sanguíneo (obtenido al finalizar cada escalón de trabajo) se denomina umbral láctico (Davis y Col., 1976, citados por López y Col., 2004.)

Uno de los factores que más ha contribuido a la popularidad de la toma de muestras sanguíneas y al análisis del lactato como medio de determinación de la transición aeróbica anaeróbica, ha sido la facilidad de su realización y la precisión de medida de los llamados sistemas micrométodo (Maughan, 1982, citados por López y Col., 2004.). Las microtomas de sangre son relativamente inocuas para el sujeto y requieren sólo unas pocas gotas de sangre que pueden obtenerse del lóbulo de la oreja o del pulpejo del dedo (López y Col., 1991, citados por López y Col., 2004). La facilidad para tomar la muestra y la proliferación de analizadores automáticos y semiautomáticos de medición de lactato han determinado la popularización de esta metodología. En 1991 según López y Col. (citados por López y Col., 2004), la metodología para tomar micromuestras es muy simple. Se suele tomar del lóbulo de la oreja o del pulpejo del dedo (cara interna del pulpejo del cuarto dedo), después de haber arterializado el lugar escogido mediante la aplicación de calor o de una pomada vasodilatadora, con lo que se consigue no solo arterializar la sangre que se va a obtener, sino que se facilita la salida de la misma y por tanto la obtención de muestra. En este sentido, el pulpejo del dedo se suele calentar mediante sistemas simples, como pequeñas almohadillas eléctricas.

En el momento de obtener la primera muestra se realiza una punción con una lanceta estéril y se deja fluir una gota de sangre, pudiendo ayudar ligeramente a la salida de ésta mediante una suave maniobra de ordeño del pulpejo o del lóbulo, pero nunca apretando o estrujando. La micromuestra de sangre es analizada automáticamente en analizadores específicos por métodos enzimáticos que varían ligeramente de un fabricante a otro, pero que suelen estar basados en una reacción química en la que el lactato pasa a piruvato, liberando oxígeno, el cual es medido por un electrodo de

membrana. La mayor o menor presencia de oxígeno será proporcional a la cantidad de lactato, (López y Col, 1991; citados por López y Col., 2004).

Segundo Punto de Ruptura del Lactato en Test Incremental.

El segundo punto de ruptura del lactato o umbral láctico-2 se define como la intensidad de ejercicio (W ó Km·h) anterior a un aumento brusco y sostenido de la concentración de lactato en sangre. Por definición, este umbral se situaría entre el umbral láctico (UL) y el VO₂ max, y por consiguiente a una concentración de lactato aproximada de 2-5 mmol·l. En 1980 Skinner y Mclellan (citados por López y Col., 2004.), fueron los primeros en sugerir la presencia de dos umbrales lácticos, o dos aumentos objetivos de la concentración de lactato en sangre durante la realización de un ejercicio incremental. El primer umbral (umbral láctico, UL) representa el primer aumento brusco de lactato por encima de los valores de reposo (1 mmol·l), mientras el segundo umbral (umbral láctico-2 UL2 ó segundo punto de ruptura del lactato), se caracteriza por un brusco y sostenido aumento del lactato con concentraciones 2-5 mmol·l., otros grupos también han identificado el umbral láctico-2 durante el ejercicio de tipo incremental (Aunola y Rusko, 1992; Davis y Col., 1983; Hoffmann y Col., 1994; citados por López y Col., 2004.)

La identificación del umbral láctico-2 se facilita eliminando los datos de lactato por debajo al UL y representando gráficamente al log de lactato frente al log de la velocidad de carrera o potencia de trabajo para los restantes puntos. La base fisiológica de este umbral no está clara, pero igual que el UL representa un aumento de la producción de lactato en los músculos activos, el UL-2 parece mostrar la intensidad de ejercicio en que la tasa de producción de lactato muscular supera a la tasa de aclaración del lactato en el organismo durante un ejercicio prolongado de carga constante.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

Tipo de Investigación

La presente investigación esta enmarcada en la medición de gases respiratorios durante el ejercicio en un grupo de atletas de Triatlón del Estado Mérida. Por consiguiente, es procedente indicar que el estudio es de tipo cuasiexperimental, porque en concordancia con las afirmaciones de Hernández, Fernández y Baptista (2003), se sometieron a observación un grupo de individuos que constituyen un conjunto, en este caso los atletas de triatlón del estado Mérida.

Diseño de Investigación

En cuanto al nivel de profundidad con que se aborda el tema de investigación, este estudio adopto el diseño descriptivo y exploratorio. Tal afirmación se basa en los planteamientos de Arias (2004) y Hernández y Col. (2003), quienes dicen que una investigación descriptiva es aquella en la que se caracteriza un hecho ó fenómeno. En este sentido, se describirán las relaciones presentes entre los gases respiratorios, la frecuencia cardiaca, el consumo de oxígeno y el umbral ventilatorio, mediante un análisis de los datos obtenidos con la finalidad de establecer el perfil de acondicionamiento

físico del atleta desde una perspectiva aeróbica y anaeróbica. De la misma manera, la indagación se considera como exploratoria ya que aborda un tópico poco estudiado, y primero en aplicarse en el estado.

Población y Muestra

Población

Según Hernández y Col. (2003) la población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones. Al respecto, la población del presente estudio esta conformada aproximadamente por 35 triatletas del estado Mérida.

Muestra

De acuerdo con Hernández y Col. (2003), la muestra es el subconjunto de la población que posee características similares entre si, por lo tanto la muestra de objeto de estudio esta conformada por 7 atletas que conforman la selección de alta competencia de triatlón del estado Mérida. Asimismo, la muestra es intencionada, con participación voluntaria, con edades comprendidas entre 15 y 26 años, con un tiempo de entrenamiento mayor a 2 años, los cuales se encuentran en un periodo de preparación general.

Procedimiento

Una vez que los atletas de triatlón llegaron al laboratorio de fisiología del ejercicio y biomecánica del Centro Nacional de Ciencias Aplicadas al Deporte del estado Mérida (CENACADEM), procedieron a vestirse con la indumentaria adecuada para realizar ejercicio físico. Se procedió a tomar los datos de: edad, talla, peso corporal y los pliegues dérmicos para estimar la composición corporal. Seguidamente, se les explica a los evaluados el

procedimiento de la prueba, que consiste en realizar un test de esfuerzo máximo. Luego para determinar el umbral ventilatorio y poder determinar el umbral anaeróbico se empleo el test de Bruce, cuyo protocolo es el siguiente:

Objetivo:

Determinar el umbral ventilatorio, por medio de análisis de gases respiratorios durante un test de esfuerzo máximo.

Instrumental:

- Planilla de recolección de datos.
- Balanza, marca Seca.
- Lipómetro, marca Holtain ltd. Crymych u.k (0.2mm)
- Electrodo, marca meditrace 200.
- Analizador enzimático automático, Accutrend lactate, marca Roche.
- Banda sin fin, marca trackmaster.
- Analizador de gases viasys healthcare Vmax version 20-5.
- Electrocardiógrafo, Cardiosoft.

Metodología:

Para determinar el Umbral Ventilatorio 1 mediante el análisis de los gases respiratorios en esta investigación, se utilizó el protocolo de Bruce (1963) (citado en test de esfuerzo), que es una prueba estandarizada para evaluar a pacientes con enfermedad cardíaca coronaria, aunque puede también ser utilizado para estimar aptitud cardiovascular, y en atletas, en donde los deportes en los cuales la resistencia aeróbica es un componente importante, tal como los corredores de distancia.

El protocolo de Bruce es un Test orientado al estudio de personas con capacidad física promedio normal. Consiste en incrementos cada tres minutos en la velocidad e inclinación de la banda sin fin, como se observa en la tabla:

Tabla 1. Protocolo de Bruce

Etapa	Duración	Velocidad (mph – km/h)	Inclinación
I	3 minutos	1,7 – 2,7	10%
II	3 minutos	2,5 – 4,0	12%
III	3 minutos	3,4 – 5,4	14%
IV	3 minutos	4,2 – 6,7	16%
V	3 minutos	5,0 – 8,0	18%
VI	3 minutos	5,5 – 8,8	20%

Fuente: Tabla elaborada con datos tomados de «Test de esfuerzo.» Documento en línea, (s/f).

Una vez explicada la prueba al atleta se procedió a colocarle los electrodos, estando descubierto el tórax del atleta, se limpió con una gasa impregnada en alcohol las zonas donde se colocaron los electrodos (con ello se disminuye la grasa de la piel y se facilita la conducción eléctrica).

- V1. Cuarto espacio intercostal derecho, junto al esternón.
- V2. Cuarto espacio intercostal izquierdo, junto al esternón.
- V3. En un lugar equidistante entre V2 y V4 (a mitad del camino de la línea que une ambas derivaciones).
- V4. Quinto espacio intercostal izquierdo, en la línea medioclavicular.

- V5. Quinto espacio intercostal izquierdo, en la línea axilar anterior.
- V6. Quinto espacio intercostal izquierdo, en la línea axilar media.
- V7. Brazo izquierdo.
- V8. Brazo derecho.
- V9. Muslo izquierdo.
- V10. Muslo derecho.

Localización de los electrodos correspondientes a las derivaciones precordiales V1 a V6

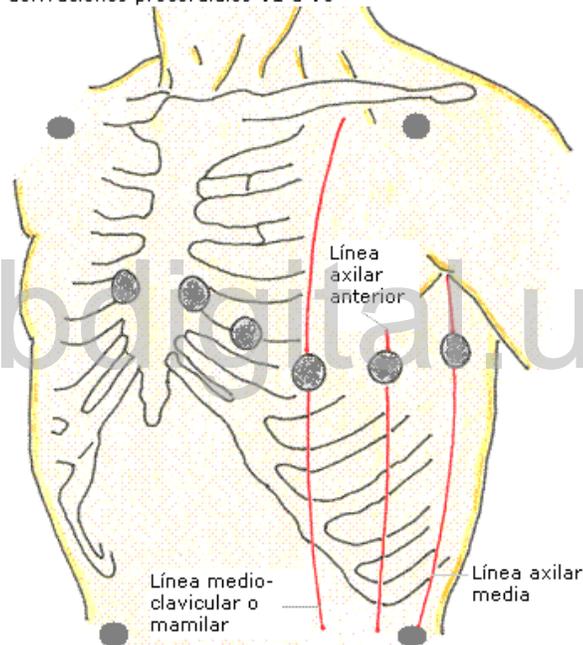


Gráfico 1: Localización de los electrodos. Tomado de «Realización del electrocardiograma» por Botella, (2005).

Una vez colocados los electrodos se procedió a la familiarización del atleta con el equipo a utilizar, primero tomando la concentración de lactato en reposo, realizando una punción capilar en el dedo índice de la mano derecha, en la cara interna del mismo. Seguidamente, montándose en la banda sin fin,

se conectaran los electrodos al electrocardiograma y el analizador de gases, verificando su conexión, se procedió a iniciar el test, incrementando automáticamente la velocidad y la inclinación cada 3 min. Hasta que el atleta llegara a la fatiga o no pudiera continuar más con la prueba. Durante todo la prueba se registraron los gases respiratorios, la frecuencia cardiaca por medio del ECG y la concentración de lactato en sangre mediante un analizador enzimática, las tomas de sangre para el análisis de lactato se realizaron antes de comenzar el test, a los 4min., a los 8min., a los 11min., a los 14min., y a los 17min.

El análisis de los resultados se realizó a través de métodos estadísticos, que determinaron la relación de las variables involucradas y las características descriptivas de los participantes en el estudio.

Medición de pliegues dérmicos o panículos adiposos subcutáneos

Esta técnica utilizada para calcular el porcentaje de grasa corporal, se basa en el principio de que aproximadamente la mitad de la grasa corporal se encuentra directamente debajo de la piel. Utilizando correctamente es un buen predictor (3% de margen de error) del porcentaje de grasa corporal. Existen variaciones de este método, en cuanto al número de medidas del panículo adiposo a tomar. De este modo, se utilizó el método de 7 medidas. Las áreas para tomar las medias fueron:

Pecho. Un pliegue diagonal tomado a la mitad de la distancia entre la línea axilar anterior y el pezón.

Axila. Un pliegue vertical en la línea media axilar a nivel del proceso xifoide del esternón.

Tríceps. Un pliegue vertical en la línea media posterior del brazo, a mitad de la distancia de los procesos acromion y olecranon.

Subescapular. Un pliegue diagonal desde el borde vertebral a 1 – 2 cm debajo del ángulo escapular inferior.

Abdomen. Un pliegue vertical tomado a una distancia lateral de aproximadamente 2 cm del ombligo.

Suprailíaco. Un pliegue diagonal sobre la cresta ilíaca en un sitio donde una línea imaginaria se dibujara desde la línea axilar anterior.

Muslo. Un pliegue vertical en el aspecto anterior del muslo, a mitad de la distancia entre el punto medio del ligamento inguinal y el borde proximal de la rótula.

La sumatoria de siete ($\Sigma 7$) panículos se utiliza para determinar la densidad corporal (Dc) por la ecuación de Pollock, Wilmore y Fox (1990), (citados por Hoeger, 2005). La sumatoria de los pliegues utilizados para el método de 7 pliegues fueron pecho, axila, tríceps, subescapular, abdominal, suprailíaco, y muslo, las fórmulas que se utilizaron para determinar la (Dc) fueron:

Masculina:

$$Dc (\Sigma 7) = 1,1120 - (0,00043499 \times \Sigma 7) + (0,00000055 \times \Sigma 7^2) - (0,00028826 \times \text{Edad}).$$

Femenina:

$$Dc (\Sigma 7) = 1,0970 - (0,00046971 \times \Sigma 7) + (0,00000056 \times \Sigma 7^2) - (0,00012828 \times \text{Edad}).$$

Se calculó el porcentaje de grasa corporal utilizando la fórmula de Siri, (Hoeger, 2005), después de haber obtenido la densidad corporal, por la siguiente formula:

$$\% \text{ Grasa corporal} = (495/Dc) - 450$$

CAPÍTULO IV

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

El propósito de este capítulo es presentar, en correspondencia con los objetivos planteados, los resultados obtenidos en esta investigación. En ese sentido, a continuación se muestran las características descriptivas de los participantes en el estudio, las cuales son: edad, peso, estatura, frecuencia cardíaca, porcentaje de grasa, peso graso y peso magro. Igualmente, se ofrece información correspondiente a consumo de oxígeno de forma relativa y absoluta (VO_2), producción de dióxido de carbono (VCO_2), ventilación pulmonar (VE), volumen total de una respiración (V_t), equivalente ventilatorio para el oxígeno (VEO_2), equivalente ventilatorio para el dióxido de carbono (VECO_2), frecuencia cardíaca (FC), cociente respiratorio (R), presión parcial de oxígeno del aire final de la espiración (PetO_2) y presión parcial de dióxido de carbono del aire final de la espiración (PetCO_2), durante un test de esfuerzo, determinando el umbral ventilatorio 1 (UV1) y el nivel de lactato durante diferentes momentos del test.

Características Descriptivas de los Sujetos

Un total de 7 triatletas, participaron en el estudio, cuyos promedios de las características físicas fueron los siguientes: edad 22 ± 7 años, peso corporal de $61,2 \pm 14$ (Kg), el porcentaje de grasa estimado se registró en una media de $12 \pm 7,77$ puntos porcentuales, el peso corporal graso promedio estimado

fue de $7,03 \pm 3,35$ (Kg); y peso corporal magro promedio estimado fue de $54,15 \pm 15,21$ (Kg).

Tabla 2.

Características descriptivas de los sujetos.

Sujetos	Peso (Kg.)	Edad (Años)	Dc	% grasa	PCG (Kg.)	PCM (Kg.)
Sujeto 1	66,4	19	1,0815	7,69	5,11	61,29
Sujeto 2	75,2	24	1,0813	7,77	5,84	69,36
Sujeto 3	52,1	26	1,0621	16,08	8,38	43,72
Sujeto 4	56,8	20	1,0598	17,05	9,69	47,11
Sujeto 5	59,3	25	1,0827	7,20	4,27	55,03
Sujeto 6	66,0	25	1,0798	8,44	5,57	60,43
Sujeto 7	52,5	15	1,0537	19,77	10,38	42,12
Medias	61,2	22	1,0716	12	7,03	54,15

Nota: Dc: Densidad corporal; PCG: Peso corporal graso; PCM: Peso corporal. Magro.

Datos obtenidos en los sujetos de investigación en la realización del test de esfuerzo.

A continuación se presentan los datos obtenidos de cada variable estudiada, para determinar el Umbral Ventilatorio 1, durante el desarrollo de la prueba de esfuerzo en banda sin fin. Así como también gráficos en donde se pueden observar claramente los cambios en las variables de estudio, en cada sujeto.

Tabla 3.

Datos objetivos de cada variable en el test de esfuerzo en el sujeto 1.

Variables	Reposo	UV1	Pico
Tiempo	00:00	11:50	16:23
VO ₂ ml/kg/min	9.2	63.8	77.4
VO ₂ L/min.	0.614	4.238	5.141
VCO ₂ L/min.	0.449	3.681	4.813
VE L/min.	16.6	131.1	190.1
Vt L	1.020	2.741	2.891
VEO ₂	27	31	34
VECO ₂	37	36	36
F.C lpm	72	166	188
R	0.73	0.87	0.94
PetO ₂ mmHg	88.0	92.9	95.9
PetCO ₂ mmHg	31.8	32.5	32.2

www.bdigital.ula.ve

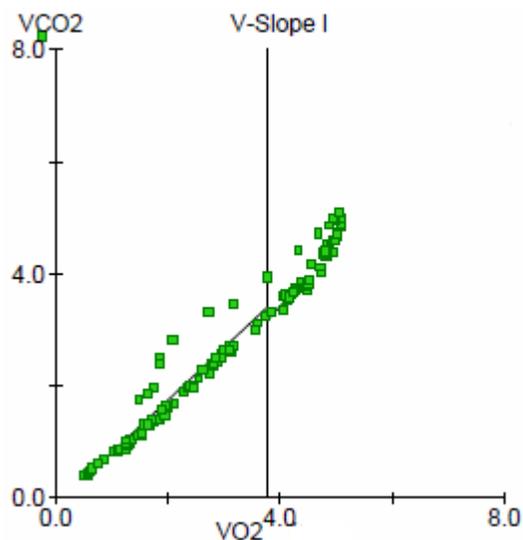


Gráfico 2: Umbral ventilatorio, método V-slope en el sujeto 1.

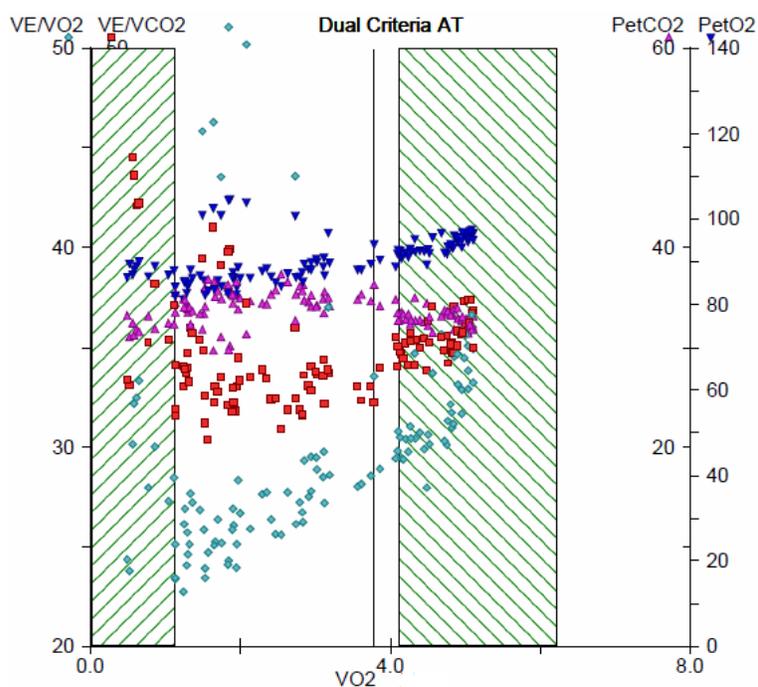


Gráfico 3: Umbral Ventilatorio, criterio dual en el sujeto 1.

www.bdigital.ula.ve

Se puede observar que el sujeto 1 alcanzó su umbral ventilatorio 1 cuando habían transcurrido aproximadamente 12 min. Y había alcanzado un VO_2 de 63.8 ml/kg/min. con una frecuencia cardiaca de 166 lpm que equivalen al 83% de su frecuencia cardiaca teórica máxima. El consumo de oxígeno máximo alcanzado por este sujeto lo clasifica como un atleta de elite, por lo que se puede decir que posee muy buena potencia aeróbica. Ahí que hacer la acotación que por razones de logística, a este sujeto no fue posible realizarle las mediciones de lactato durante la prueba, por lo que no se puede realizar la comparación del UV1 con la concentración de lactato en sangre.

Tabla 4.

Datos objetivos de cada variable en el test de esfuerzo en el sujeto 2.

Variables	Reposo	UV1	Pico
Tiempo	00:00	10:50	16:54
VO ₂ ml/kg/min	5.0	52	66
VO ₂ L/min.	0.431	3.908	4.966
VCO ₂ L/min.	0.350	3.377	4.922
VE L/min.	14.4	104.3	153.7
Vt L	0.564	2.103	2.301
VEO ₂	33	27	31
VECO ₂	41	31	31
F.C lpm	58	159	190
R	0.81	0.86	1.01
PetO ₂ mmHg	90.6	88.9	94.2
PetCO ₂ mmHg	32.6	36.7	36.6

www.bdigital.ula.ve

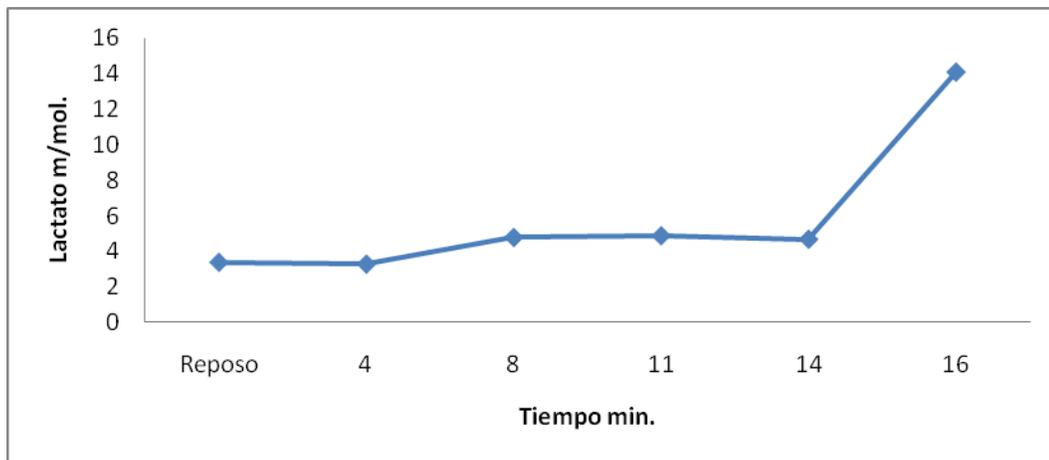


Gráfico 4: Comportamiento del lactato en el sujeto 2.

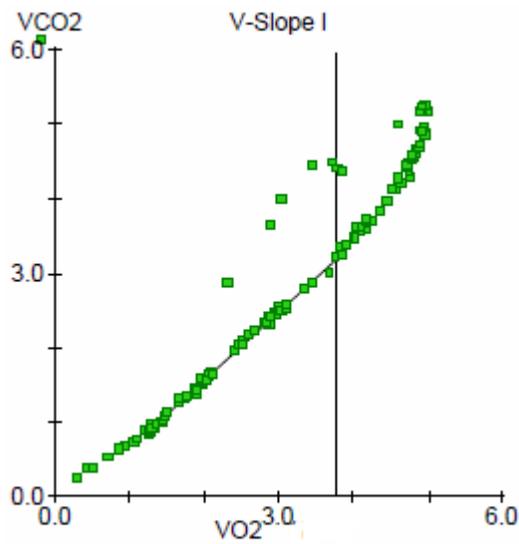


Gráfico 5: Umbral ventilatorio, método V-slope en el sujeto 2.

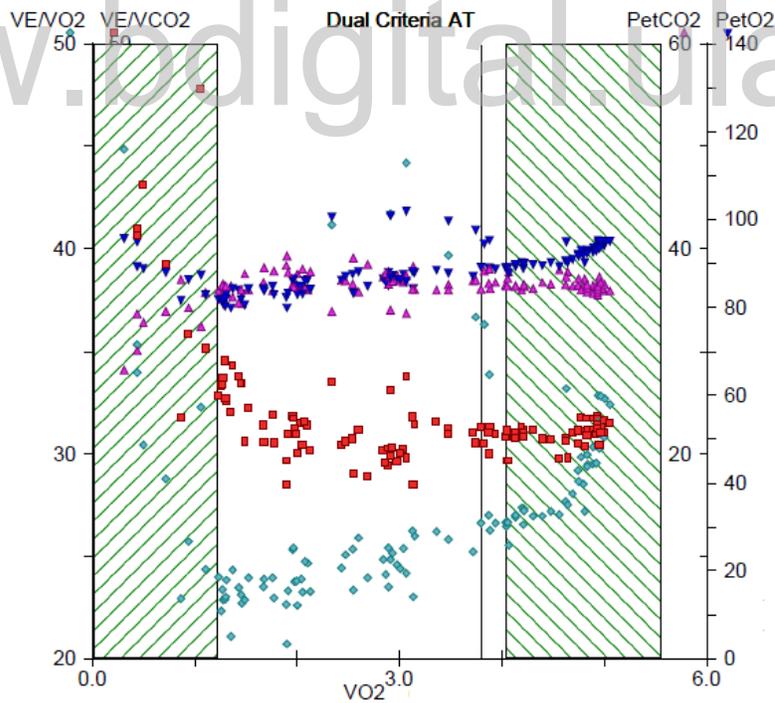


Gráfico 6: Umbral Ventilatorio, criterio dual en el sujeto 2.

En el sujeto 2 se observa, que alcanzó el UV1 cuando habían transcurrido aproximadamente 11 min. de la prueba, con una frecuencia cardiaca de 159 lpm que equivalen al 81% de su frecuencia cardiaca teórica máxima, y un VO_2 de 52 ml/kg/min. El consumo de oxígeno máximo alcanzado por este sujeto sugiere que posee buena potencia aeróbica y lo clasifica como atleta de alto rendimiento o elite.

Observando la gráfica del comportamiento del lactato, se aprecia como durante los primeros minutos de la prueba mantiene sus niveles de lactato estables durante el tiempo, con muy pocas fluctuaciones y no es hasta después del minuto 14 de la prueba, que se observa un aumento abrupto del lactato en sangre, por lo que se podría decir que a partir de aquí alcanza su umbral láctico. Considerando el tiempo donde fue detectado el umbral ventilatorio 1, con la gráfica de la medición de lactato, podríamos decir que este punto es el comienzo del umbral y poco a poco se va acumulando más ácido láctico en sangre, hasta el punto en que el organismo no es capaz de remover el mismo.

Tabla 5.

Datos objetivos de cada variable en el test de esfuerzo en el sujeto 3.

Variables	Reposo	UV1	Pico
Tiempo	00:00	8:50	14:14
VO ₂ ml/kg/min	9.4	49.1	73.9
VO ₂ L/min.	0.491	2.559	3.852
VCO ₂ L/min.	0.348	1.964	3.852
VE L/min.	11.4	60.7	123.3
Vt L	0.790	1.957	2.182
VEO ₂	23	24	30
VECO ₂	33	31	32
F.C lpm	63	151	181
R	0.71	0.77	0.93
PetO ₂ mmHg	91.6	88.8	95.1
PetCO ₂ mmHg	29.9	35.3	35.1

www.bdigital.ula.ve

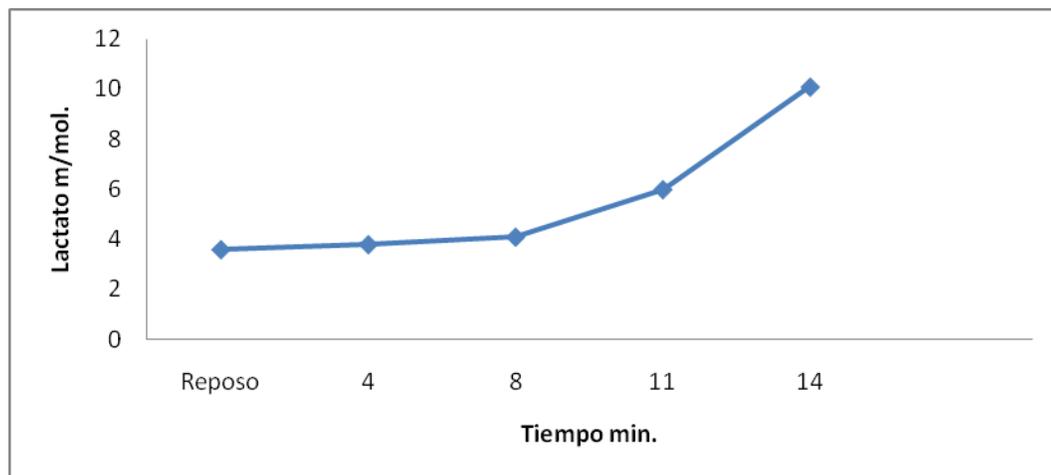


Gráfico 7: Comportamiento del lactato en el sujeto 3.

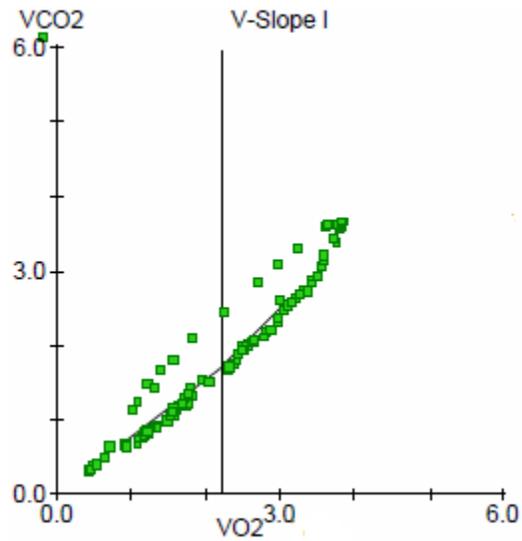


Gráfico 8: Umbral ventilatorio, método V-slope en el sujeto 3.

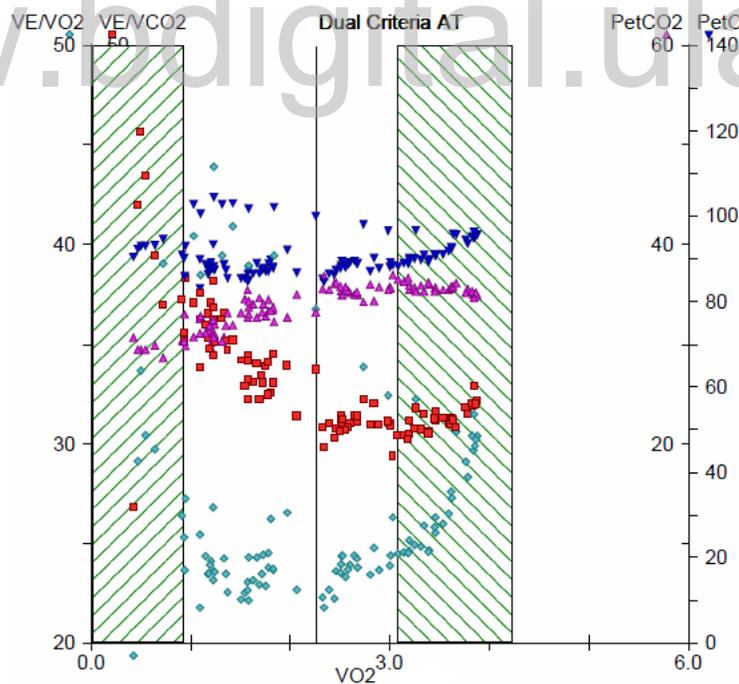


Gráfico 9: Umbral Ventilatorio, criterio dual en el sujeto 3.

Se observa en el sujeto 3 que alcanzó el UV1 cuando habían transcurrido aproximadamente 9 min. De la prueba, con una frecuencia cardíaca de 151 lpm que equivalen al 78% de su frecuencia cardíaca teórica máxima, y un VO_2 de 49.1 ml/kg/min. El consumo de oxígeno máximo alcanzado por este sujeto sugiere que posee buena potencia aeróbica y lo clasifica como atleta de elite.

Observando la gráfica del comportamiento del lactato, se aprecia como se incrementa progresivamente los niveles de lactato en sangre en los diferentes intervalos de tiempo, tendiendo hacia el aumento. De la misma manera, se aprecia que es a partir del min. 8 de la prueba que comienza haber un aumento significativo en la concentración de lactato en sangre por lo que se podría decir que a partir de aquí alcanza su umbral láctico. Considerando el tiempo donde fue detectado el umbral ventilatorio 1, con la gráfica de la medición de lactato, se podría decir que este punto concuerda con la toma invasiva de lactato.

www.bdigital.ula.ve

Tabla 6.

Datos objetivos de cada variable en el test de esfuerzo en el sujeto 4.

Variables	Reposo	UV1	Pico
Tiempo	00:00	13:50	17:33
VO ₂ ml/kg/min	6.9	58.9	74.1
VO ₂ L/min.	0.390	3.343	4.206
VCO ₂ L/min.	0.335	2.856	4.289
VE L/min.	11.5	83.7	129.4
Vt L	0.607	2.302	2.610
VEO ₂	30	25	29
VECO ₂	34	29	28
F.C lpm	58	168	183
R	0.86	0.85	1.02
PetO ₂ mmHg	96.8	87.3	91.4
PetCO ₂ mmHg	28.0	36.7	38.1

www.bdigital.ula.ve

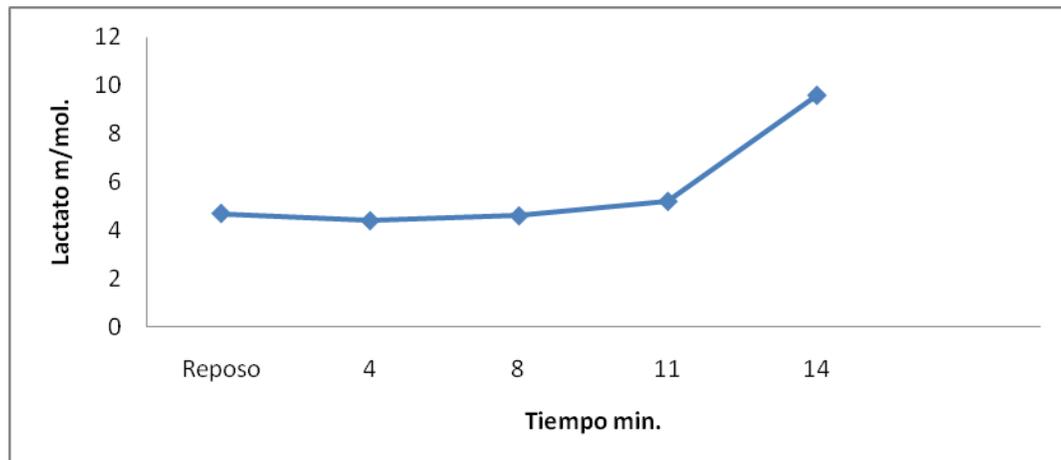


Gráfico 10: Comportamiento del lactato en el sujeto 4.

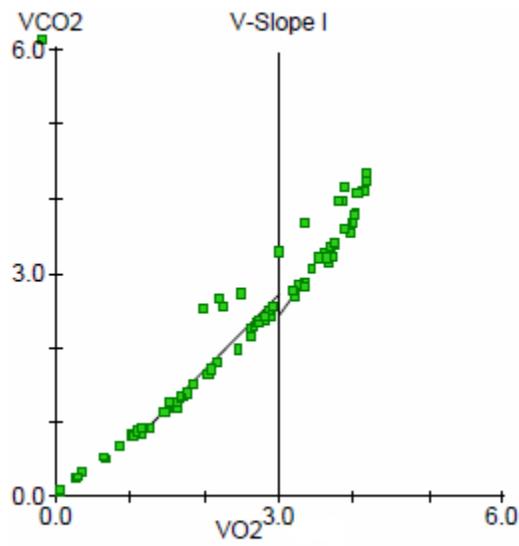


Gráfico 11: Umbral ventilatorio, método V-slope en el sujeto 4.

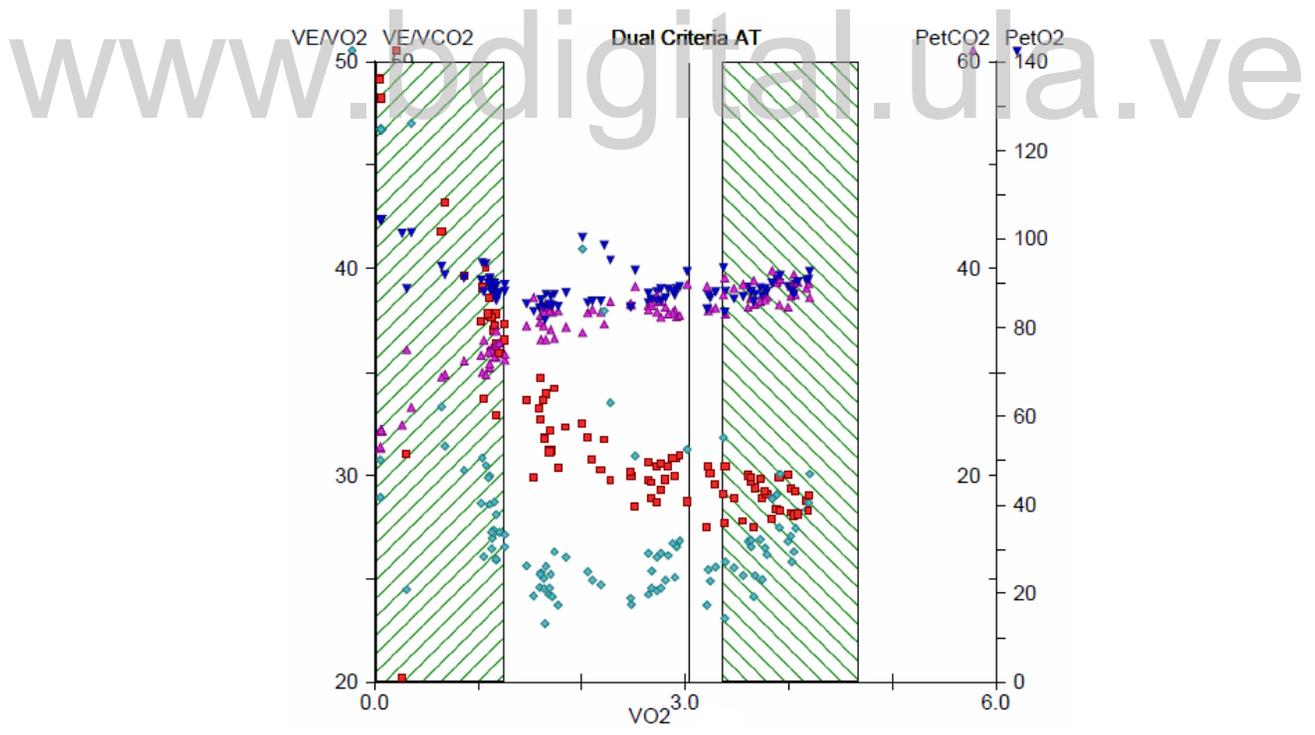


Gráfico 12: Umbral Ventilatorio, criterio dual en el sujeto 4.

En el sujeto 4 se observa, que alcanzó el UV1 cuando habían transcurrido aproximadamente 14 min. de la prueba, con una frecuencia cardiaca de 168 lpm que equivalen al 84% de su frecuencia cardiaca teórica máxima, y un VO_2 de 58.9 ml/kg/min. El consumo de oxígeno máximo alcanzado por este sujeto sugiere que posee buena potencia aeróbica y lo clasifica como atleta de elite.

Observando la gráfica del comportamiento del lactato, presenta una estabilización de los mismos, con ligeras variaciones, pero que en los intervalos de tiempo finales se incremento abruptamente, y es a partir del min. 11 que se podría decir que a partir de aquí alcanza su umbral láctico. Considerando el tiempo donde fue detectado el UV1, con la gráfica de la medición de lactato, se podría decir que este punto concuerda con la toma de lactato, y es a partir de aquí donde se comienza a detectar niveles intolerables de lactato en sangre hasta alcanzar el UV1 y el UL1.

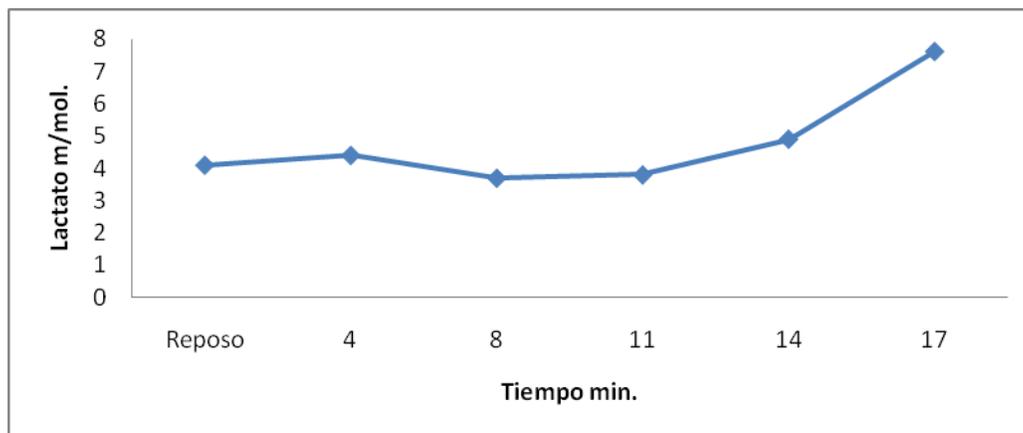
www.bdigital.ula.ve

Tabla 7.

Datos objetivos de cada variable en el test de esfuerzo en el sujeto 5.

Variables	Reposo	UV1	Pico
Tiempo	00:00	12:30	19:53
VO ₂ ml/kg/min	0.8	58.3	79.0
VO ₂ L/min.	0.045	3.457	4.683
VCO ₂ L/min.	0.046	2.992	4.931
VE L/min.	3.5	87.1	175.5
Vt L	0.246	2.258	2.925
VEO ₂	77	25	35
VECO ₂	76	29	33
F.C lpm	74	152	227
R	1.02	0.87	1.05
PetO ₂ mmHg	96.2	84.3	95.4
PetCO ₂ mmHg	28.7	40.2	37.0

www.bdigital.ula.ve



Gráfica 13: Comportamiento del lactato en el sujeto 5.

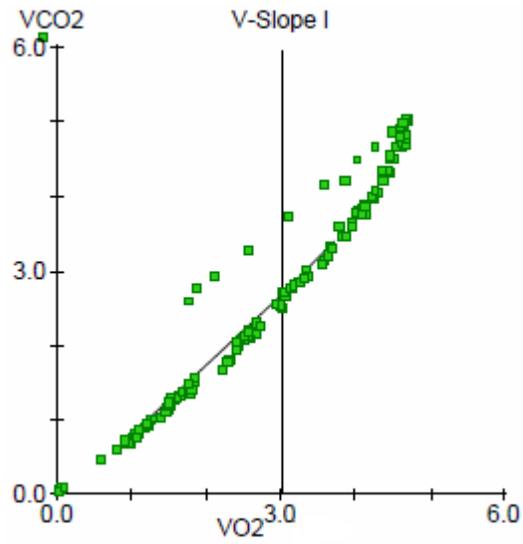


Gráfico 14: Umbral ventilatorio, método V-slope en el sujeto 5.

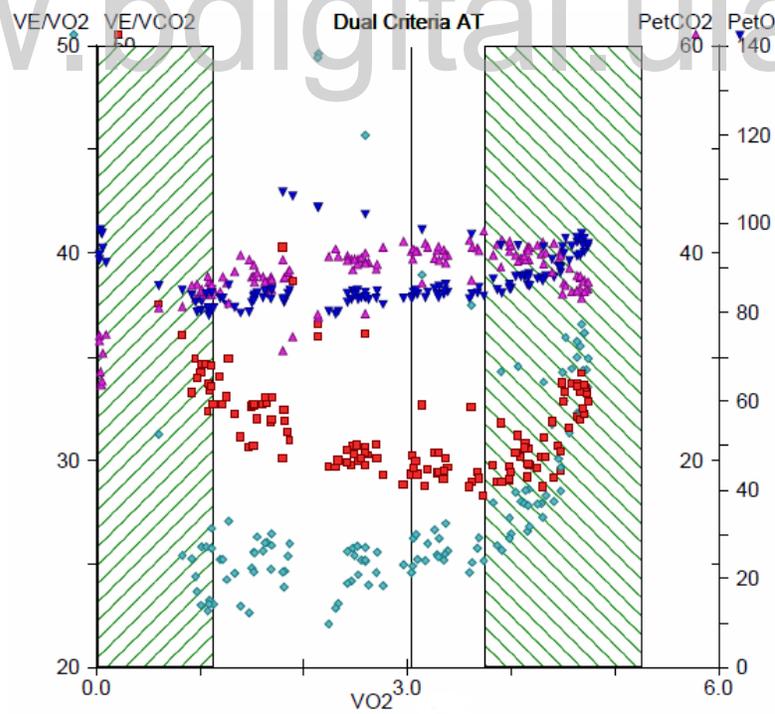


Gráfico 15: Umbral Ventilatorio, criterio dual en el sujeto 5.

En el sujeto 5 se observa, que alcanzó el UV1 cuando habían transcurrido aproximadamente 13 min. de la prueba, con una frecuencia cardiaca de 152 lpm que equivalen al 78% de su frecuencia cardiaca teórica máxima, y un VO_2 de 58.3 ml/kg/min. Considerando los valores obtenidos en la prueba, el sujeto 5 presento una frecuencia cardiaca máxima de 227 lpm, de esta manera su umbral ventilatorio equivale a 67% de su F.C máxima (227 lpm). El consumo de oxígeno máximo alcanzado por este sujeto sugiere que posee muy buena potencia aeróbica y lo clasifica como atleta de elite.

Observando la gráfica del comportamiento del lactato, presenta un aumento al principio de la prueba, con una ligera disminución para luego tender a un aumento de manera significativa, y es a partir del min. 11 que se podría decir que comienza acumularse el acido láctico en sangre. Considerando el tiempo donde fue detectado el UV1, con la gráfica de la medición de lactato, se podría decir que este punto concuerda con la toma de sangre, y es partir de aquí donde se comienza acular niveles intolerables de lactato en sangre hasta alcanzar el UV1 y el UL1.

Tabla 8.

Datos objetivos de cada variable en el test de esfuerzo en el sujeto 6.

Variables	Reposo	UV1	Pico
Tiempo	00:00	10:52	17:54
VO ₂ ml/kg/min	8.3	59.5	81.6
VO ₂ L/min.	0.545	3.930	5.386
VCO ₂ L/min.	0.401	3.280	5.220
VE L/min.	18.5	104.0	180.4
Vt L	1.247	2.486	3.072
VEO ₂	26	26	33
VECO ₂	31	32	34
F.C lpm	85	157	203
R	0.74	0.83	0.97
PetO ₂ mmHg	90.1	91.7	97.6
PetCO ₂ mmHg	37.5	36.2	35.0

www.bdigital.ula.ve

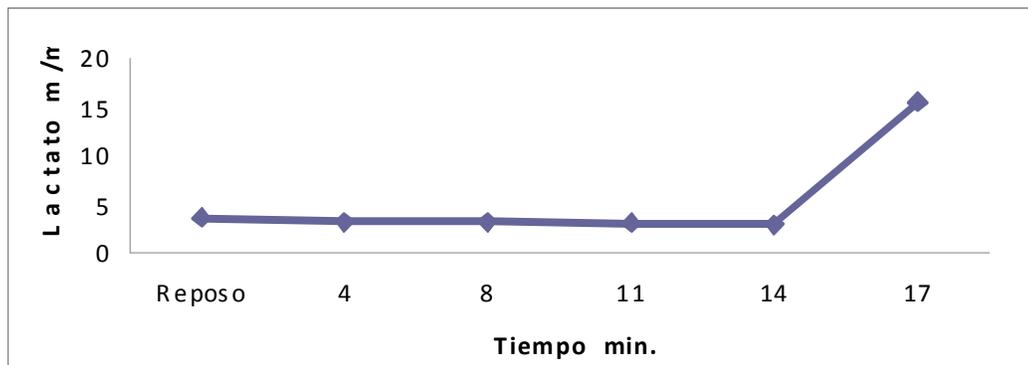


Gráfico 16: Comportamiento del lactato en el sujeto 6.

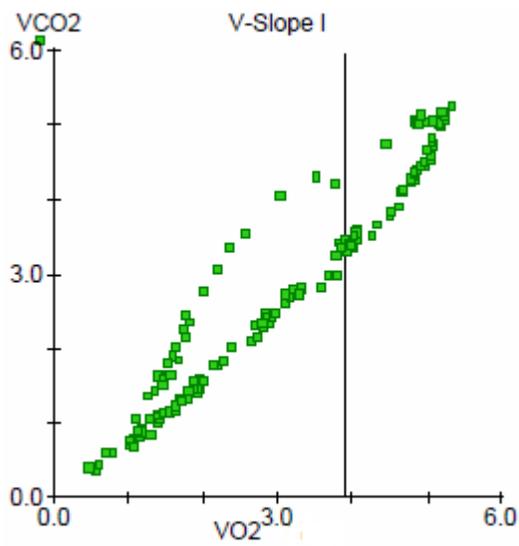


Gráfico 17: Umbral ventilatorio, método V-slope en el sujeto 6.

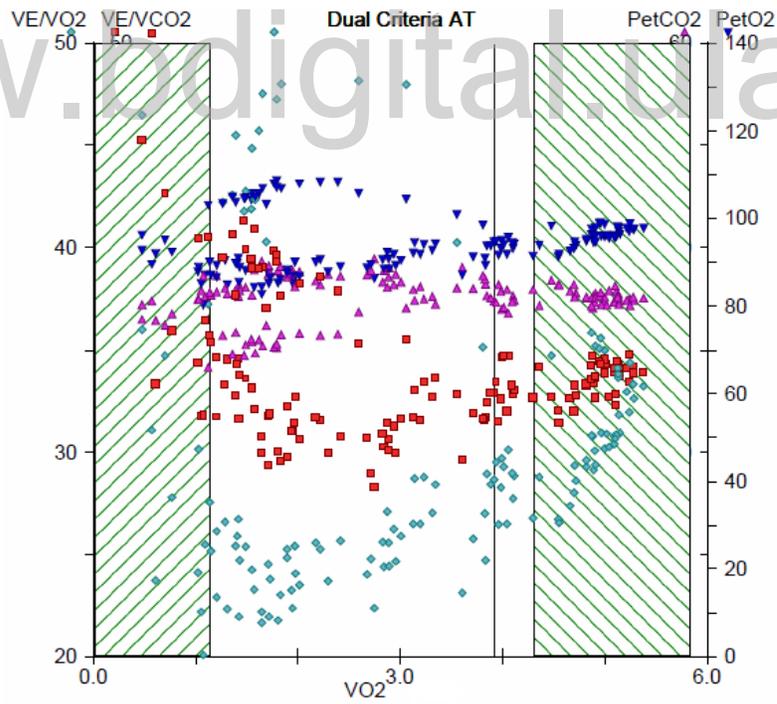


Gráfico 18: Umbral Ventilatorio, criterio dual en el sujeto 6.

Se observa que el sujeto 6, alcanzó el UV1 cuando habían transcurrido aproximadamente 11 min. de la prueba, con una frecuencia cardiaca de 157 lpm que equivalen al 81% de su frecuencia cardiaca teórica máxima, y un VO_2 de 59.5 ml/kg/min. Considerando los valores obtenidos en la prueba, el sujeto 6 presentó una frecuencia cardiaca máxima de 203 lpm, de esta manera su umbral ventilatorio equivale a 77% de su F.C máxima (203lpm). El consumo de oxígeno máximo alcanzado por este sujeto sugiere que posee muy buena potencia aeróbica y lo clasifica como atleta de elite.

Observando la gráfica del comportamiento del lactato, presenta una estabilización de los mismos, hasta el punto en que aumenta de forma abrupta provocando la fatiga muscular, y es a partir del min. 14 que se acumula el ácido láctico en sangre. Considerando el tiempo donde fue detectado el UV1, con la gráfica de la medición de lactato, podríamos decir que este punto no concuerda con la toma invasiva de sangre, posiblemente porque son dos vías diferentes de determinar el umbral UV1 y el UL1.

www.bdigital.ula.ve

Tabla 9.

Datos objetivos de cada variable en el test de esfuerzo en el sujeto 7.

Variables	Reposo	UV1	Pico
Tiempo	00:00	9:00	13:43
VO ₂ ml/kg/min	6.8	43.2	64.5
VO ₂ L/min.	0.355	2.269	3.385
VCO ₂ L/min.	0.257	2.018	3.298
VE L/min.	13.0	67.5	129.2
Vt L	0.574	1.766	2.328
VEO ₂	37	30	37
VECO ₂	55	33	38
F.C lpm	89	161	190
R	0.73	0.89	0.97
PetO ₂ mmHg	95.0	93.9	100.3
PetCO ₂ mmHg	28.4	33.2	29.2

www.bdigital.ula.ve

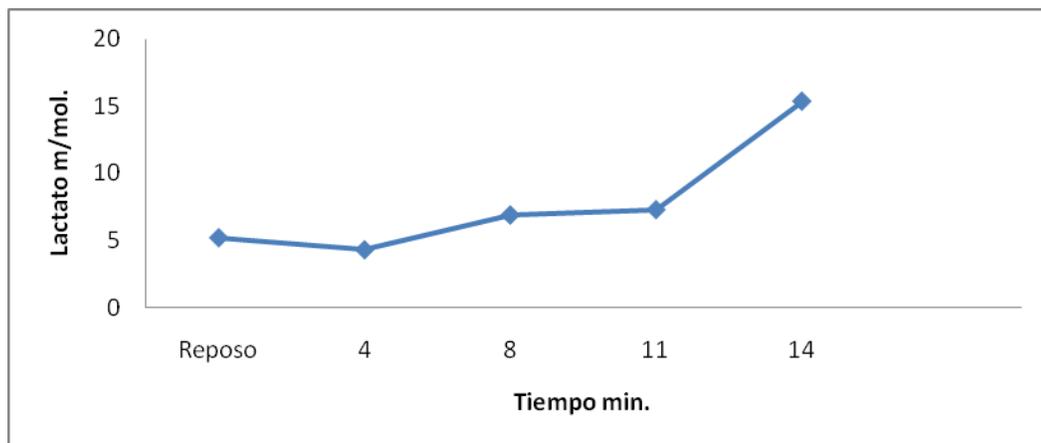


Gráfico 19: Comportamiento del lactato en el sujeto 7.

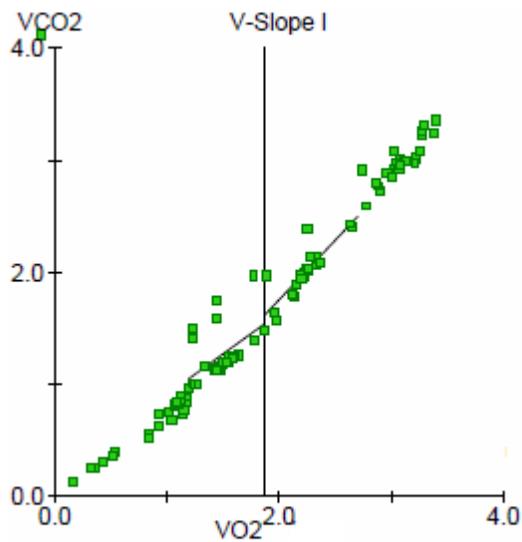


Gráfico 20: Umbral ventilatorio, método V-slope en el sujeto 7.

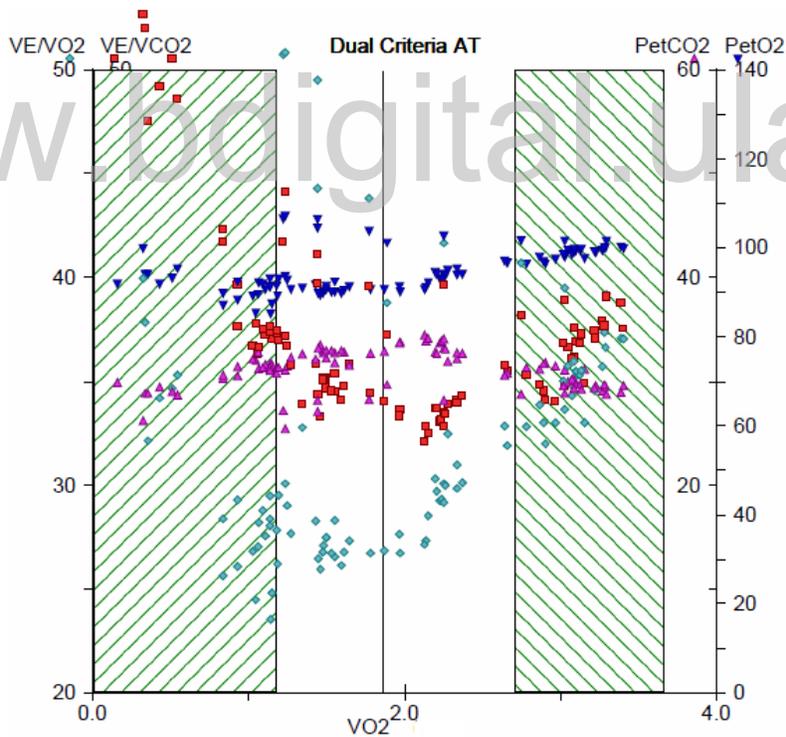


Gráfico 21: Umbral Ventilatorio, criterio dual en el sujeto 7.

En el sujeto 7 se observa, que alcanzó el UV1 cuando habían transcurrido aproximadamente 9 min. de la prueba, con una frecuencia cardiaca de 161 lpm que equivalen al 83% de su frecuencia cardiaca teórica máxima, y un VO_2 de 43.2 ml/kg/min. El consumo de oxígeno máximo alcanzado por este sujeto sugiere que posee buena potencia aeróbica y lo clasifica como atleta de alta competencia o de elite.

Observando la gráfica del comportamiento del lactato, presenta ligeras variaciones, pero en los intervalos de tiempo finales se incremento abruptamente, y es a partir del min. 11 que se podría decir que a partir de aquí alcanza su umbral láctico. Considerando el tiempo donde fue detectado el UV1, con la gráfica de la medición de lactato, podríamos decir que este punto no concuerda con la toma de sangre.

www.bdigital.ula.ve

Tabla 10.

Datos de cada variable en el test de esfuerzo, medias comparados con otro estudio.

Variables	UV1	Pico	García (2004)	
			UV1	Pico
VO_2 ml/kg/min	55	73.8	41.8+-1.7	72.9+-2.0
VO_2 L/min	3386	4517	2820+-130	4929+-196
VCO_2 L/min	2881	4475	2520+-141	5786+-219
VE L/min	91.2	154.5	63.8+-3.3	191+-7.2
F.C lpm	159.1	194.5	139.3+-4.3	181.5+-2.9
R	0.85	0.98	0.89+-0.02	1.18+-0.02

Considerando los datos obtenidos por los sujetos estudiados, se compararon con las medias obtenidas por García en el 2004, un estudio realizado a triatletas y ciclista de elite, durante una temporada. En la tabla 10 se puede apreciar como los datos de los sujetos de estudio son mayores en algunas variables, que los hallados por García, dando una apreciación del nivel que poseen los atletas del estado Mérida.

En el caso del UV1 los sujetos de estudio lo obtuvieron en un nivel más elevado de VO_2 y una mayor frecuencia cardiaca, con lo cual se puede inferir, que estos requieren de un mayor esfuerzo físico para alcanzar el umbral ventilatorio 1; por lo tanto esto retrasa la aparición de la fatiga y se transforma en un mayor tiempo de esfuerzo físico. De igual forma el consumo máximo de oxígeno presentado en forma relativa, estuvo casi igual de los estudiados por García (2004), mientras que la frecuencia cardiaca si fue superior en este estudio, sugiriendo el esfuerzo realizado por los atletas.

www.bdigital.ula.ve

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Tras el análisis bibliográfico, la valoración de los resultados obtenidos y las consideraciones y discusión de los mismos, se pueden establecer las siguientes conclusiones:

Con la realización de esta investigación se logró obtener datos fisiológicos importantes para los atletas y entrenadores que servirán para la elaboración y administración de planes de entrenamiento más específicos a las necesidades individuales de cada atleta.

El máximo consumo de oxígeno determinado directamente, y el umbral ventilatorio 1, mediante el análisis de gases respiratorios, abre las puertas a futuras investigaciones, pues es la primera vez que en el CENACADEM y posiblemente en el estado Mérida, se determinan dichos parámetros fisiológicos directamente, dando la oportunidad de conocer y dar utilidad a instrumentos novedosos y especiales destinados a evaluaciones deportivas, que ayudan a mejorar el rendimiento deportivo.

Los datos obtenidos de consumo máximo de oxígeno clasifican a todos los sujetos como atletas de elite, lo que refleja que poseen muy buena potencia aeróbica, y por ende muy buenas condiciones para desempeñarse en el triatlón.

El umbral ventilatorio se muestra como un buen indicador del estado de forma de los sujetos, y como un medio seguro y no invasivo para determinar el umbral anaeróbico.

Se determinó la frecuencia cardíaca donde se obtuvo el UV1, como método para utilizarlo en los entrenamientos, determinando y controlando la intensidad del esfuerzo.

Los diferentes componentes ventilatorios y lácticos del umbral anaeróbico, son manifestaciones biológicas y fisiológicas derivadas directa o indirectamente de un origen común, probablemente relacionado con el aumento del metabolismo energético.

No existe ninguna relación causa-efecto entre Umbral Ventilatorio 1 y Umbral Láctico 1, si no más bien una causa (aumento del metabolismo energético) que da lugar a múltiples efectos. Sin embargo, el hecho de que posean un origen común hace que los umbrales, aunque diferentes, no sean independientes.

Los resultados de la composición corporal reflejan un porcentaje de grasa que clasifica a la mayoría de los sujetos en excelente y bueno, lo que podría tener relación con el rendimiento físico.

En base al análisis de los resultados obtenidos y en concordancia con las conclusiones, es necesario señalar las siguientes recomendaciones:

1. Los deportes de resistencia deben utilizar el UV1 como método alternativo, económico y de fácil aplicación, para determinar el inicio del umbral anaeróbico, como un medio para la planificación de las cargas de entrenamiento, establecidas de acuerdo a las posibilidades funcionales e individuales de los atletas.
2. Realizar las planificaciones del entrenamiento basándose en los datos obtenidos en esta investigación, tomando en cuenta el principio de individualidad, que establece las capacidades e intereses individuales de los atletas.
3. Evaluar paulatinamente a los atletas, a expensas de que mejoren sus condiciones físicas, a medida que se entrena adecuadamente utilizando la determinación del umbral anaeróbico por análisis de gases.

4. Dar utilidad a los equipos del CENACADEM que se encuentran subutilizados, como un medio científico para el desarrollo deportivo del estado.
5. Realizar otras investigaciones de este tipo, que tenga una mayor muestra de atletas y de diferentes deportes de resistencia, así como también sometiendo a grupos de control durante un periodo de competencia.

www.bdigital.ula.ve

REFERENCIAS

Análisis de lactato - conceptos básicos. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.lactate.com/estesbas.html>. (Consulta: 2008, junio 04).

Arias, F. (2004). El proyecto de investigación: introducción a la metodología de la investigación. (4ta. Ed.) Caracas: Exísteme.

Barrios, D., Hernández, T. y Cardoso, T. (2004). Valoración del esfuerzo percibido en el control del entrenamiento en triatlón. [Página Web en línea]. Disponible en: <http://www.efdeportes.com/efd77/triatlon.htm>. (Consulta: 2008, Mayo 14).

Biolaster. Apoyo científico y tecnológico para el deporte. [Página Web en línea]. Disponible en: http://www.biolaster.com/rendimiento_deportivo/metabolismo_energetico/umbral_anaerobico. (Consulta: 2008, Mayo 28).

Botella, D. (2005). Realización del electrocardiograma. [Página Web en línea]. Disponible en: <http://www.fisterra.com/material/tecnicas/ekg/ekg.asp>. (Consulta: 2009, junio 24).

Carey, D., Schwarz, L., Pliego, G. y Raymond, R. (s/f). La Frecuencia Respiratoria es un Marcador Válido y Confiable del Umbral Anaeróbico: Implicaciones para Medir Cambios en la Aptitud Física. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.sobreentrenamiento.com/publico/Articulo.asp?ida=955&tp=s>. (Consultado en: 2008, junio 24).

Domingo, H. (2007). Ergoforesis de los componentes lácticos, ventilatorios y cardiovasculares del Fenómeno Umbral. [Documento en línea]. Disponible en: http://www.tesisenxarxa.net/TDX-1022107-114353/index_cs.html. (Consulta: 2008, Mayo 17).

Edwards, A., Clark, N. y Macfadyen A. (2003). El Umbral Ventilatorio y el Umbral de Lactato Reflejan el Nivel de Entrenamiento de Jugadores de Fútbol Profesionales mientras que la Potencia Aeróbica Máxima se Mantiene sin Cambios. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.sobreentrenamiento.com/publicar/Articulo.asp?ida=624&tp=s>. (Consulta: 2008, junio 20).

El análisis de lactato conceptos avanzados. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.lactate.com/estesadv.html>. (Consulta: 2008, Junio 04).

El análisis de lactato para los entrenadores de triatlón. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.lactate.com/triathlon/estrwhy.htm>. (Consulta: 2008, junio 04).

Enciclopedia electrónica Wikipedia. [Documento en línea]. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Triatl%C3%B3n>. (Consulta: 2008, Mayo 10).

Fundación Colombo Díaz. [Página Web en línea]. Disponible en: http://www.fundcolombodiaz.org.ar/contenidos.asp?CO_CODIGO=571. (Consulta: 2008, junio 04).

García, A. (2004). Evolución comparada de los parámetros fisiológicos en triatletas y ciclistas de élite, a lo largo de una temporada. [Documento en línea]. Disponible en: http://oa.upm.es/250/1/Augusto_Garcia_Zapico.pdf. (consulta: 2008, mayo 18).

García, L. y Herrero, A. (2003). El triatlón un acercamiento a sus orígenes y a los factores que determinan su rendimiento. [Página Web en línea]. Disponible en: <http://www.efdeportes.com/efd66/triatlon.htm>. (Consulta: 2008, Mayo 14).

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2003). Metodología de la investigación (3era. Ed.) Bogotá: McGraw Hill.

Hoeger, P. (2005). Educación física de base. Mérida-Venezuela: Consejo de Publicaciones Universidad de los Andes.

López, C., Aznar, S., Fernández, V., López, M., Mulas, L., Pérez, R. (2004) Transición aeróbica-anaeróbica. 1era edición. Madrid: editorial Master line prodigio S.L.

Los latidos del corazón y el lactato. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.lactate.com/escarla.html>. (Consulta: 2008, Junio 04).

Martinez, A. (2006). [Documento en línea]. Disponible en: <http://amtriathlon.blogspot.com/2006/12/umbral-funcional.html>. (Consulta: 2008, Mayo 25).

Mesa, M., Feriche, C. y Gutiérrez, S. (2001). Un nuevo método para mejorar la capacidad y potencia aerobias en niños prepúberes. [Página Web en línea]. Disponible en: <http://www.efdeportes.com/efd40/aerob.htm>. (Consulta: 2008, junio 06).

Palella, S. y Martins, F. (2004). Metodología de la investigación cuantitativa. Caracas: FEDUPEL. Editorial pedagógica.

Paton, C. y Hopkins, W. Rendimiento Competitivo de Triatletas de Elite que Compiten en Distancia Olímpica: Confiabilidad y Menor Mejora Significativa. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.sobreentrenamiento.com/Publice/Articulo.asp?ida=878&tp=s>. (Consulta en: 2008, junio 22).

Rey, L. (2008). Rendimiento en triatlón de larga distancia estudio antropométrico de la pierna. [Página Web en línea]. Disponible en: <http://www.efdeportes.com/efd119/rendimiento-en-triatlon-de-larga-distancia.htm>. (Consulta: 2008, Mayo 11).

Rondón, P. (2007). Intensidad de esfuerzo y concentración de lactato en un grupo de ciclistas de ruta del estado Mérida. Mérida-Venezuela: Universidad de Los Andes.

Sekir, U., Ozyener, F. y Gur, H. (s/f). Efecto de la Hora del Día sobre la Relación entre el Umbral de Lactato y el Umbral Ventilatorio: Un Breve Reporte. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.sobreentrenamiento.com/Publice/Articulo.asp?ida=887&tp=s>. (Consulta en: 2008, junio 20).

Servicio medicina deportiva. [Página Web en línea]. Disponible en: <http://www.medicina-deportiva.net/potencia2.html> (Consulta: 2008, Mayo 17).

Test de esfuerzo. [Documento en línea]. Disponible en: <http://escuela.med.puc.cl/paginas/Cursos/cuarto/Integrado4/Cardio4/Cardio47.html>. (Consulta: 2009, Enero 17).

Wilmore, H. y Costill, L. (2000). Fisiología del esfuerzo y del deporte. España:
Paidotribo.

www.bdigital.ula.ve