



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE MEDICINA  
ESCUELA DE KINESIOLOGÍA

**CONCORDANCIA DE LA ESTIMACIÓN DEL UMBRAL  
ANAERÓBICO MEDIANTE LA FÓRMULA DE  
VELOCIDAD CRÍTICA Y UMBRAL LÁCTICO EN  
ATLETAS FONDISTAS AMATEURS**

KATHERINA PAZ POBLETE HOFFMANN

CONCORDANCIA DE LA ESTIMACIÓN DEL UMBRAL ANAERÓBICO MEDIANTE LA FÓRMULA DE  
VELOCIDAD CRÍTICA Y UMBRAL LÁCTICO EN ATLETAS FONDISTAS AMATEURS

Tesis

Entregada a la

UNIVERSIDAD DE CHILE

En cumplimiento parcial de los requisitos

para optar al grado de

LICENCIADA EN KINESIOLOGÍA

FACULTAD DE MEDICINA

por

KATHERINA PAZ POBLETE HOFFMANN

2010

DIRECTOR DE TESIS: KLGO. PABLO QUIROGA MARABOLÍ

PATROCINANTE DE TESIS: SYLVIA ORTIZ ZUÑIGA

FACULTAD DE MEDICINA  
UNIVERSIDAD DE CHILE

INFORME DE APROBACION  
TESIS DE LICENCIATURA

Se informa a la Escuela de Kinesiología de la Facultad de Medicina que la Tesis de Licenciatura presentada por la candidata:

KATHERINA PAZ POBLETE HOFFMANN

Ha sido aprobada por la Comisión Informante de Tesis como requisito para optar al grado de Licenciado en Kinesiología, en el examen de defensa de Tesis rendido el 20 de diciembre de 2010.

DIRECTOR DE TESIS

KLGO. PABLO QUIROGA MARABOLÍ

.....  
FIRMA

COMISION INFORMANTE DE TESIS.

NOMBRE

FIRMA

KLGO. MARCELO CANO

.....

KLGA. VIRGINIA DELFÍN

.....

SYLVIA ORTIZ ZUÑIGA

.....

*“A mi familia, en especial a mis padres, Elena y Guillermo, por acompañarme y apoyarme en cada paso que doy, a mi hermana Isabel por tener siempre un consejo entusiasta y una sonrisa para mí, a Felipe, Paulina y a mi tía Lucía, por ser unos pilares importantísimos en mi vida, a mis sobrinas Gabriela y Amparo, por ser las razones de mis alegrías, a mi novio Daniel por la paciencia, amor y dedicación que me entrega y a mi hermano Guillermo, mi ángel que me acompaña y me da las fuerzas para continuar y seguir adelante sin importar los obstáculos. Donde estoy y a donde me dirijo es por ti... cada día un poquito más cerca de nuestro reencuentro”.*

*KT*



*“Si Alguien ama a una flor de la que no existe más que un ejemplar entre las millones y millones de estrellas, es bastante para que sea feliz cuando mira a las estrellas. Se dice: «Mi flor está allí, en alguna parte...»”*

*El Principito*

## AGRADECIMIENTOS

---

Agradezco a todas las personas que participaron y colaboraron en este proyecto, en especial:

A mi tutor, el Klgo. Pablo Quiroga, por todo el tiempo que dedicó en el desarrollo de nuestra investigación, por sus palabras de ánimo, consejos y apoyo incondicional en todo momento.

A todos las personas del grupo de fondistas del club San Ignacio del Bosque, por su disposición a participar y buena voluntad.

A la profesora Sylvia Ortiz, por el tiempo y la paciencia entregada durante todo el proceso de formación del proyecto.

A Miguel Ángel Vega por la ayuda metodológica y por todos los consejos que me brindo.

A Osvaldo por su ayuda en la búsqueda bibliográfica para esta investigación.

A mi hermana Isabel, por su orientación, dedicación y apoyo durante toda la realización de este estudio.

A Daniel, por su imprescindible ayuda en estadística, además de su contribución en el desarrollo de toda la investigación.

A Pamela, por su disposición y preocupación al realizar el diseño de la presentación del proyecto.

A mis amigos David y Constanza por su apoyo, entusiasmo y ayuda al momento de la toma de muestra.

Al profesor Edgardo Opazo, por su apoyo y preocupación durante el desarrollo de la tesis.

A los profesores Marcelo Cano y Virginia Delfín, por sus consejos y correcciones.

## ÍNDICE

---

	Página
<b>ÍNDICE</b>	vi
<b>LISTA DE TABLAS</b>	x
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	xi
<b>RESUMEN</b>	xii
<b>ABSTRACT</b>	xiii
<b>ABREVIATURAS</b>	xiv
<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
Planteamiento del problema y justificación	1
Pregunta de investigación	1
<b>MARCO TEÓRICO</b>	2
Lactato y metabolismo anaeróbico	2
Formación y medición del umbral del lactato	5
Velocidad crítica	6
Objetivos	9
Objetivo general	9
Objetivos específicos	9
Hipótesis	9
<b>MATERIAL Y MÉTODOS</b>	10
Diseño de la investigación	10
Tipo de estudio	10

Población de estudio	10
Criterios de Inclusión	10
Criterios de Exclusión	11
Variables	11
Variables independientes	11
Variable dependiente	12
Variables control	12
Variables desconcertantes	12
Protocolo de Estudio	13
Determinación de la velocidad crítica	13
Prueba de campo y test de lactato	14
<b>PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS</b>	15
Resultados	15
Conclusión	19
<b>DISCUSIÓN</b>	20
<b>PROYECCIONES</b>	23
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	24
<b>APÉNDICES</b>	31
(1) Población de estudio	31
(2) Consentimiento informado	32
(3) Variables control	33
(4) Niveles de lactato en el test incremental para cada sujeto	34
(5) Velocidad que se obtiene en el umbral del lactato para cada sujeto	35

(6) Variables de control del test incremental	36
(7) Tiempo obtenido en los 800/2800 metros y velocidad crítica para cada sujeto	37
(8) Cálculo de la VC del sujeto 1 a través de la fórmula de Lin-TD	38
(9) Variables de control del test de 800 metros	40
(10) Variables de control del test de 2800 metros	41
(11) Condiciones ambientales	42
(12) Prueba t de Student	43
<b>ANEXOS</b>	44
(1) Metabolismos energéticos	44
Oxidación celular	46
Glicólisis	48
Formación de lactato	49
Intervención acoplada de los metabolismos	51
(2) Producción de lactato en presencia de O <sub>2</sub>	52
(3) Relación del umbral anaeróbico y ejercicio	53
(4) Métodos para calcular el umbral anaeróbico	55
(5) Fotografía de los materiales utilizados en el estudio	56
Equipo de medición de lactato Accutrend Plus de Roche	56
Tiras de medición de lactato Roche	56
Cronómetro	56
Esfigmomanómetro	56
Forerunner 310, Garmin	56
Hojas de anotaciones y lápiz	57

Pista sintética de 400 metros	57
Thermo-hygrometer modelo 303	57
Computador portátil	57
(6) Escala de Borg modificada	58
(7) Instrumentos de medición del lactato	59

## LISTA DE TABLAS

---

		Página
Tabla I	Diferencia y media de la velocidad a la cual se obtuvo el umbral de lactato y la velocidad obtenida a través de la fórmula de la velocidad crítica para cada sujeto	17
Tabla II	Niveles de lactato en el test incremental para cada sujeto	34
Tabla III	Velocidad que se obtiene en el umbral del lactato para cada sujeto	35
Tabla IV	Variables de control del test incremental	36
Tabla V	Medidas de resumen de las variables de control del test incremental	36
Tabla VI	Tiempo obtenido en los 800/2800 metros y velocidad crítica para cada sujeto	37
Tabla VII	Variables de control del test de 800 metros	40
Tabla VIII	Medidas de resumen de las variables de control del test de 800 metros	40
Tabla IX	Variables de control del test de 2800 metros	41
Tabla X	Medidas de resumen de las variables de control del test de 2800 metros	41
Tabla XI	Condiciones ambientales en el test incremental y en los controles de 800/2800 metros	42
Tabla XII	Medidas de resumen de las condiciones ambientales en el test incremental y en los controles de 800/2800 metros	42
Tabla XIII	Test t	43

## LISTA DE FIGURAS

---

		Página
Figura 1	Curva de lactato sanguíneo del sujeto 5	15
Figura 2	Gráfico de Bland-Altman	18
Figura 3	Diagrama de Flujo de la población de estudio	31
Figura 4	Gráfico del modelo lineal de distancia-tiempo del sujeto 1	38

## RESUMEN

---

Una medida ampliamente utilizada para la planificación eficiente de los protocolos de entrenamiento deportivo es el umbral anaeróbico, el cual se define como la mayor intensidad de ejercicio que puede mantener una persona durante un periodo de tiempo prolongado. Existen distintas pruebas para obtenerlo, pero la mayoría son costosas y complejas.

Un método alternativo para la estimación del umbral anaeróbico es la fórmula de velocidad crítica, método no invasivo, de baja complejidad, fácil ejecución y de poco costo. No obstante, la evidencia científica es controversial sobre su exactitud, además de existir escasa literatura de su utilización en pruebas de campo para fondistas. Es por esto que el objetivo principal de la presente investigación es determinar si la fórmula de velocidad crítica estima el umbral anaeróbico en una prueba de campo. Para ello se midió la concordancia entre la velocidad obtenida a través de la fórmula de velocidad crítica, y la velocidad lograda al momento de alcanzar el umbral del lactato; este último utilizado como test *gold standard* para la estimación del umbral anaeróbico en campo.

Los datos empleados para la investigación corresponden a las evaluaciones realizadas a 13 deportistas entre 35 y 45 años, pertenecientes al club de fondista del Colegio San Ignacio del Bosque, Providencia. La recolección de datos se realizó durante el periodo comprendido entre Julio y Octubre del año 2010. La modalidad utilizada en este estudio es de tipo no experimental, transversal descriptivo de concordancia.

Para el análisis estadístico de los datos se utilizó el método de Bland-Altman y prueba t de Student, los cuales indicaron que no había concordancia entre las velocidades obtenidas con el umbral del lactato y la fórmula de velocidad crítica, existiendo una diferencia significativa entre ellos, por lo tanto ésta última no podría ser empleada como una alternativa simple, no invasiva en la determinación del umbral anaeróbico.

*Palabras claves: Concentración de lactato; umbral del lactato; metabolismo anaeróbico; umbral anaeróbico; velocidad crítica.*

## ABSTRACT

---

A widely used measure for the efficient planning of sports training protocols is the anaerobic threshold, which is defined as the highest exercise intensity that can hold a person for a large period of time. There are different tests to obtain it, but most of them are expensive and complex.

An alternative method for estimating the anaerobic threshold is the critical speed formula. This is a non-invasive method, with low complexity, easy to implement and of low cost. However, scientific evidence about its accuracy is controversial, and there is poor literature about its use in field tests for distance runners. That is why the main objective of this research is to determine if the critical speed formula estimates the anaerobic threshold in a field test. For this was measured the agreement between the velocity obtained through the critical speed formula, and speed when reaching the lactate threshold, the latter used as gold standard test to estimate the anaerobic threshold in the field.

The data used correspond to the evaluations made to 13 athletes between 35 and 45 years belonging to San Ignacio del Bosque School's long distance runners club, Providencia. Data collection was performed during the period between July and October 2010. The method used in this study is non-experimental, transversal, descriptive of agreement.

For the statistical analysis of the data was used the Bland-Altman's method and Student's t-test, which indicated that there was no agreement between the speed obtained with the lactate threshold and the critical speed formula, there is a significant difference between them, therefore, this latter could not be used as a simple and noninvasive anaerobic threshold determination.

*Keywords: Lactate concentration, lactate threshold, anaerobic metabolism, anaerobic threshold, critical speed.*

## ABREVIATURAS

---

Accusport	ACC
Adenosintrifosfato	ATP
Agua	H <sub>2</sub> O
Capacidad anaeróbica de carrera	CAC
Capacidad anaeróbica de trabajo	CAT
Concentración de lactato en sangre	[La]
Diodo de emisor de luz	LED
Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>
Estado estable de lactato	MLSS
Figura	Fig.
Flavin-adenin-dinucleótido oxidada	FADH
Flavin-adenin-dinucleótido reducida	FADH <sub>2</sub>
Frecuencia cardiaca	FC
Grados Celsius	°C
Inicio de la acumulación de lactato en sangre	OBLA
Kilómetros por hora	km/h
Lactato Pro	LP
Lactato sanguíneo a los X km/h	LaX
Latidos por minuto	Lpm
Metros	M
Metros por segundo	m/s
Mili molar	mM
Milímetro de mercurio	mmHg
Modelo lineal de distancia-tiempo	Modelo de Lin-TD

Nicotin-adenin-dinucleótido oxidada	NAD <sup>+</sup>
Nicotin-adenin-dinucleótido reducida	NADH
Presión arterial	PA
Segundos	S
Umbral anaeróbico	UAna
Umbral anaeróbico individual	IAT
Umbral del lactato	ULa
Velocidad crítica	VC
Velocidad en la cual se obtiene el ULa	VULa
Velocidad obtenida a través de la fórmula de VC	VVC

## INTRODUCCIÓN

---

La práctica deportiva en nuestro país ha ido en ascenso en las últimas décadas. Dentro de las razones que explican dicho fenómeno se encuentran: la preocupación por el estado de salud, motivos estéticos, mejoramiento de las capacidades físicas y el rendimiento, entre otras. Una de estas prácticas deportivas más frecuentes es el trote, actividad que está de moda actualmente en Chile, con una incidencia de su práctica en la población que nos pone al nivel de Argentina o Brasil en la región sudamericana. Esta práctica deportiva sistemática cada vez se regulariza más, generándose incluso clubes de trote.

El trote es una actividad caracterizada por la mantención del esfuerzo en forma prolongada, lo que conlleva una gran utilización del metabolismo aeróbico. Las personas que buscan una mejora en la capacidad física, llegan muchas veces a umbrales anaeróbicos en el ejercicio para perfeccionar el rendimiento. Es por ello que para la planificación de esta actividad, es importante conocer el umbral anaeróbico para dosificar las cargas a nivel individual y así lograr los objetivos deseados, minimizando la posibilidad de un entrenamiento excesivo, el riesgo y la incidencia de lesiones deportivas.

Los métodos utilizados para determinar la capacidad anaeróbica, a través del umbral anaeróbico, son numerosos (Green y Dawson 1993), no obstante, pocos de ellos pueden ser empleados de manera regular por los atletas y entrenadores, debido a su costo y complejidad (Bosquet y cols. 2007). Es por ello que se hace necesario generar y conocer herramientas simples que puedan ser accesibles para todo el mundo y en especial para entrenadores. Un método que cumple con estas características es la fórmula de velocidad crítica, la cual será analizada en este estudio.

### PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Existe concordancia entre la estimación del umbral anaeróbico por medio de la velocidad obtenida mediante la fórmula de velocidad crítica y umbral de lactato?

## MARCO TEÓRICO

---

La progresión del rendimiento deportivo en general y de los deportes de resistencia en particular, es el resultado de la relación cada vez más estrecha entre los conocimientos del entrenador y el saber científico (Billat 2002). De ahí la importancia de tener claro conceptos fisiológicos para poder optimizar la actividad deportiva mediante la obtención de parámetros como el umbral anaeróbico, a través de pruebas accesibles y de fácil utilización.

Para el desarrollo de este estudio se exponen los siguientes tópicos: lactacidemia y metabolismo anaeróbico, formación y medición del umbral del lactato y velocidad crítica.

### **Lactato y metabolismo anaeróbico.**

El metabolismo se define como el conjunto de intercambios físicos y químicos que se desarrollan en el organismo, que permiten las transferencias de energía (Billat 2002). Esto implica dos procesos fundamentales: el anabolismo, definido como el proceso de formación de moléculas orgánicas (biosíntesis) y el catabolismo, proceso de degradación de dichas moléculas a sustancias más simples. El intermediario energético para estos procesos se denomina adenosintrifosfato (ATP), el cual al momento de ser hidrolizado libera una gran cantidad de energía fundamental para el proceso metabólico (Billat 2002). El ATP se genera mediante tres métodos: (1) el sistema ATP-CrP, denominado metabolismo anaeróbico aláctico, (2) el sistema glicolítico y (3) el ciclo de Krebs-cadena transportadora de electrones (Anexo 1).

La glicólisis produce ATP mediante la oxidación de la glucosa, generando dos moléculas de piruvato. Esta molécula tiene dos posibles vías metabólicas, una de ellas es su reducción a lactato en condiciones anaeróbicas, reacción que requiere de un agente reductor, siendo en este caso NADH. La segunda posibilidad es que en condiciones aeróbicas el piruvato se oxida a Acetil CoA dirigiéndose

al ciclo de Krebs, donde los equivalentes reductores generados ( $\text{NADH}$  y  $\text{FADH}_2$ ) se aprovechan en las mitocondrias entregando sus electrones, los que son transportados a través de una serie de complejos enzimáticos (cadena transportadora de electrones) hasta el último aceptor, el oxígeno, formando agua y ATP. El destino que siga el piruvato estará determinado por la razón entre las concentraciones de las formas reducida y oxidada del  $\text{NAD}^+$  ( $\text{NADH}/\text{NAD}^+$ ), a mayor cantidad de  $\text{NADH}/\text{NAD}^+$ , mayor tendencia a la reducción del piruvato a lactato (metabolismo anaeróbico), y a menor  $\text{NADH}/\text{NAD}^+$  mayor tendencia a desviar la reacción hacia el ciclo de Krebs – cadena transportadora de electrones (metabolismo aeróbico) (Mazza 1985).

La intensidad de la glicólisis será un determinante importante en la concentración de  $\text{NADH}$  en el citoplasma: a mayor tasa de glicólisis, mayor concentración de  $\text{NADH}$  en el citoplasma y en consecuencia mayor tendencia a la formación de lactato. La eficiencia de la cadena respiratoria para oxidar aeróbicamente al  $\text{NADH}$  dentro de las mitocondrias será por su parte, un determinante de la concentración de  $\text{NAD}^+$  en el citoplasma, a una mayor eficiencia aeróbica mayor concentración de  $\text{NAD}^+$  (menor cociente  $\text{NADH}/\text{NAD}^+$ ) y en consecuencia, menor tendencia a la formación de lactato. Ya en 1989 Graham y Saltin confirmaron que el estado redox mitocondrial ( $\text{NADH}/\text{NAD}^+$ ) aumenta en las personas durante el ejercicio, en el momento que la formación de lactato se acelera.

La intensidad de producción de piruvato por la glicólisis será también un determinante de la relación de concentraciones entre el lactato y el piruvato (cociente lactato/piruvato), que influirá en el sentido de la reacción reversible. La eficiencia de las mitocondrias para oxidar Acetil- CoA (producto de la oxidación del piruvato) a  $\text{CO}_2$ , con producción de  $\text{H}_2\text{O}$  a través del ciclo de Krebs- cadena transportadora de electrones será, a su vez, un atenuante de la concentración de piruvato en el citoplasma, disminuyendo la producción de lactato. La tasa final de producción de lactato dependerá de la intensidad de producción de piruvato y  $\text{NADH}$  por parte de la glicólisis.

Durante un esfuerzo físico relativamente importante, la velocidad de ruptura glicolítica genera significativos aumentos en los cocientes de  $\text{NADH/NAD}^+$  y piruvato/lactato, lo cual favorece la producción de lactato; la velocidad glicolítica está influida en forma casi exclusiva por la intensidad del esfuerzo. Curiosamente, la determinación del destino del piruvato, a ser oxidado en el ciclo de Krebs o a ser reducido a lactato, depende mucho más de la tasa glicolítica, determinada por la velocidad o la intensidad del esfuerzo, que de la mayor o menor disponibilidad de  $\text{O}_2$  a nivel celular (Mazza 1985) (Anexo 2).

Una vez formado el lactato dentro del músculo, éste difunde rápidamente a la sangre para su amortiguación y eliminación rápida del lugar del metabolismo energético, lo cual permite que continúe el proceso de glicólisis, aportando más energía anaeróbica para la síntesis de ATP. Sin embargo, este proceso es temporal, con una intensidad de ejercicio determinada, la tasa de producción de lactato y el transporte de éste a la sangre es superior a la tasa de eliminación, situación que podría deberse a la redistribución del flujo sanguíneo lejos de los sitios de eliminación de lactato o a la transformación de algunos de los tejidos que lo extraen en sitios de producción, debido al aumento de la intensidad en el ejercicio, como ocurre en el tejido hepático y cardiaco (Billat 2002). Esto incluye el reclutamiento de unidades motoras adicionales dentro del tejido muscular activado dentro de un músculo, dado que el conjunto de las unidades motoras se vuelven más activas, por lo tanto hay menos fibras musculares inactivas disponibles para servir como sitios de eliminación de lactato. Bajo estas circunstancias, el lactato se acumula y el oxígeno disponible no puede dar cuenta de todas las necesidades energéticas del ejercicio (Svedahl y MacIntosh 2003).

Las fuentes del lactato basal son, probablemente, producto de la tasa metabólica de los músculos que funcionan con bajo flujo sanguíneo y su liberación por los glóbulos rojos como producto final de su metabolismo (Svedahl y MacIntosh 2003).

## **Formación y medición del umbral del lactato (ULa).**

El umbral anaeróbico (UAna) ha sido definido teóricamente como la mayor intensidad de ejercicio que puede mantenerse por períodos de tiempo prolongado (Svedahl y MacIntosh 2003). Su importancia práctica, para atletas de resistencia competitivos, reside en la medición del progreso en el rendimiento y para diseñar programas de entrenamiento (Anexo 3).

La medición de la concentración de lactato en la sangre ([LA]) en respuesta al ejercicio se ha utilizado para la evaluación de la aptitud física (Chicharro y cols. 1991; Weltman 1990), para la prescripción de la intensidad del entrenamiento (Kinderman y cols. 1979, Jacobs 1986), y para la detección de las adaptaciones al ejercicio crónico (Denis y cols. 1982, Keith y cols. 1992). El UAna y la determinación de [LA], han sido utilizados ampliamente para el diagnóstico de la capacidad aeróbica (Hollmann 1985), demostrando tener una alta correlación con la resistencia (Tanaka y cols. 1984, Kumagai y cols. 1982).

En la literatura (Stegmann y Kinderman 1982, Conconi y cols. 1982, Tanaka y cols. 1984, David 1985, Chicharro y cols. 1991, Simoes y cols. 1999, Bisciotti y cols. 2003, Svedahl y MacIntosh 2003, Busso y Chatagnon 2006, Bosquet y cols. 2007, Gondim y cols. 2007) se encuentran diversos métodos para calcular el UAna, tales como: Estado estable de lactato (MLSS), mínima velocidad del lactato, inicio de la acumulación de lactato en la sangre (OBLa), umbral de lactato, umbral anaeróbico individual (IAT) y umbral ventilatorio (Anexo 4).

Para este estudio se utilizará el ULa, ya que es un método de simple interpretación y que no tiene diferencias significativas con la determinación bajo otras metodologías mencionadas anteriormente (Svedahl y MacIntosh 2003).

Se ha visto que en un ejercicio exhaustivo de duración prolongada pueden existir niveles relativamente bajos de lactato en el plasma; también se ha observado que los individuos pueden ejercer un esfuerzo sólo hasta cierta intensidad crítica con una acumulación de poco o nada de lactato

en el plasma. Sin embargo, cuando esta intensidad crítica es superada, el lactato comienza a acumularse de manera exponencial (Farrel y cols. 1979). Este punto es definido como el ULa.

### **Velocidad crítica (VC).**

La VC está definida como “la máxima intensidad del ejercicio que puede ser mantenida durante un largo periodo de tiempo sin fatiga” (Monod y Sherrer 1965). Teóricamente, la prueba de VC proporciona estimaciones de dos parámetros: la velocidad máxima de carrera que puede mantenerse durante un período prolongado de tiempo sin fatiga (VC), y la distancia que se puede correr utilizando sólo las fuentes de energía almacenada en el músculo, llamada capacidad anaeróbica de carrera (CAC) (Hopkins y cols. 1989, Housh y cols. 1991, Hughson y cols. 1984). Housh y cols. (2001) dijeron que la VC permite estimar, a través de un modelo matemático, la capacidad anaeróbica de trabajo (CAT) la cual representa una buena alternativa para la evaluación de los deportistas. En el caso de la carrera, este último concepto se expresa como la CAC.

La capacidad anaeróbica se define como la cantidad máxima de ATP sintetizada a través del metabolismo anaeróbico de todo el organismo en un tipo de ejercicio máximo de corta duración (Green y Dawson 1993). Puesto que es uno de los principales factores determinantes del éxito en los eventos en los cuales la reserva anaeróbica es ocupada casi por completo, como ocurre por ejemplo en la carrera de los 800 metros (Spencer y Gustin 2001).

CAC se define como la cantidad total del trabajo realizado durante una carrera máxima, basado en una utilización alta de ATP (Green 1995). Uno de los métodos más comunes utilizados para estimar la CAC consiste en la realización de 3 a 5 pruebas de velocidad constante hasta el agotamiento, ya sea en pista o en una caminadora. En general se acepta que la relación entre la velocidad y el tiempo hasta el agotamiento es una hipérbola (Hill 1927). La intersección con el eje y

en la conversión por regresión de esta curva constante, en un gráfico que relaciona distancia y el tiempo hasta el agotamiento, representa la CAC (Housh y cols. 2001).

Utilizando conceptos matemáticos, la asíntota de esta curva hiperbólica entre la velocidad y el tiempo hasta el agotamiento, o la pendiente de la relación lineal entre la distancia y tiempo hasta el agotamiento, obtenida a través de la conversión por regresión de dicha curva, representa la VC (Housh y cols. 2001).

La relación lineal distancia - tiempo hasta el agotamiento y la relación lineal velocidad - tiempo hasta de agotamiento, no representan los únicos modelos matemáticos que permitan estimar de CAC (Housh y cols. 2001). Whipp y cols. (1982) propusieron una conversión lineal de la relación hiperbólica, relacionando la velocidad y la inversa del tiempo. A fin de superar la suposición incorrecta en el modelo hiperbólico donde la velocidad es infinita cuando se acerca a la hora cero, Morton y Hodgson (1996) propusieron un modelo que incluía los sistemas de un parámetro adicional: la velocidad máxima. La adición de este tercer parámetro tuvo un claro impacto sobre la estimación de CAC, ya que se ha visto que tiene estimaciones dos a tres veces superiores en relación a otros modelos (Bosquet y cols. 2007). Dentro de estos modelos, la regresión lineal entre la distancia recorrida y el tiempo obtenido, correspondiendo la pendiente de la línea de regresión a la VC, es ampliamente aceptada y no tiene diferencias significativas en la obtención de VC respecto a los otros modelos existentes para su cálculo (Bull y cols. 2007), además de ser la de más fácil utilización para pruebas en campo.

Para este estudio será utilizada la fórmula de regresión lineal determinada por la relación distancia-tiempo, debido a las condiciones metodológicas determinadas para esta investigación.

En la literatura se evidencian distintos valores para la VC, según el modelo matemático utilizado y el tipo de ejercicio que se haya realizado. Pepper y cols. (1992) examinaron la validez de

las estimaciones VC en un modelo lineal de distancia-tiempo (Lin-TD), determinado por la siguiente fórmula:

$$TD: CAC + VC \times t$$

TD: Distancia total recorrida.

CAC: Capacidad anaeróbica de carrera.

VC: Velocidad crítica.

*t*: Tiempo

La literatura reporta que la carrera realizada con VC estimada a partir de este modelo resulta en un tiempo medio hasta el agotamiento de  $16,43 \pm 6,1$  min, con un rango de 10-31.9 min. Pepper y cols. (1992) informaron que, aunque ningún sujeto completó 60 minutos a 100% de VC, ocho de sus diez sujetos completó 60 minutos de carrera en 85% de VC estimada a partir del modelo de Lin-TD, siendo el de mayor duración de los distintos modelos.

A partir de estos modelos matemáticos de estimación de la capacidad anaeróbica, se ha encontrado una variedad de correlaciones positivas y negativas de CAC estimada, con déficit de oxígeno, umbral de lactato o potencia media durante un test de Wingate, el cual consiste en pedalear lo más rápido posible, y por lo tanto realizar el mayor número de pedaleadas en 30 segundos, a fin de medir la cantidad de energía producida por el metabolismo anaeróbico láctico (Bosquet y cols. 2007).

Las preguntas siguen abiertas en lo que respecta a la determinación del modelo que proporciona la estimación de la VC y la correlación más estrecha con la capacidad de rendimiento en eventos de larga duración. El interés en modelar la relación entre la distancia o velocidad con el tiempo hasta el agotamiento, va más allá de la simple estimación de la VC. De hecho, nos permite estimar de forma individual el tiempo necesario para cubrir una distancia determinada o, por la conversión, la velocidad que se puede sostener durante un tiempo preestablecido. Estos datos son de gran interés para entrenadores en la predicción del rendimiento o en la prescripción del nivel de intensidad en el entrenamiento, especialmente para los corredores de mediana y larga distancia (Bull y cols. 2007).

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

- ✓ Determinar si existe concordancia entre la velocidad obtenida mediante la fórmula de velocidad crítica y la velocidad a la cual se obtiene el umbral del lactato en un test incremental de campo.

### **Objetivos específicos**

- ✓ Determinar la velocidad crítica para cada uno de los sujetos.
- ✓ Cuantificar en los controles de velocidad crítica los niveles basales y finales de frecuencia cardiaca y presión arterial en cada sujeto.
- ✓ Cuantificar en la prueba de campo los niveles basales y finales de frecuencia cardiaca y presión arterial en cada sujeto.
- ✓ Estimar el umbral anaeróbico mediante la determinación del umbral del lactato, a través de la cuantificación de la lactatemia para cada uno de los sujetos.
- ✓ Determinar la concordancia entre las velocidades de carrera obtenidas mediante la fórmula de velocidad crítica y del umbral del lactato.

## **HIPÓTESIS**

La velocidad de carrera estimada mediante la fórmula de velocidad crítica es concordante con la velocidad que se obtiene en el umbral del lactato en una prueba de campo.

## MATERIAL Y MÉTODOS

---

### DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

#### Tipo de Estudio

El tipo de estudio es no experimental, transversal descriptivo de concordancia.

#### Población de estudio

La población de estudio correspondió a todos los deportistas del grupo de fondistas del club San Ignacio del Bosque, ubicado en la comuna de Providencia, Santiago. El número total de sujetos de estudio fue de 15 individuos, 12 hombres y 3 mujeres, entre los 35 y 45 años. Dentro de ellos, una persona no cumplía con los criterios de inclusión, ya que llevaba menos de 6 meses practicando la actividad. Por otra parte, uno de los sujetos no logró completar una prueba, puesto que presentó una lesión músculo-esquelética, cumpliendo uno de los criterios de exclusión, de manera que ambas personas no fueron consideradas en el análisis estadístico (Apéndice 1).

#### Criterios de Inclusión

- ✓ Pertenecer al club de fondistas del Colegio San Ignacio.
- ✓ Desarrollar sistemáticamente la actividad durante los últimos 6 meses, basado en un plan de entrenamiento.
- ✓ Haber tenido un descanso adecuado, sin actividades de alta intensidad que demanden un gran gasto energético, durante 2 días previos a cada control.
- ✓ Haber tenido una alimentación habitual (similar a la ingerida en los días de entrenamiento), previa a cada control.
- ✓ Haber firmado el consentimiento informado (Apéndice 2).

## **Criterios de Exclusión**

- ✓ Lesiones músculo-esquelética en el último mes, previo al control.
- ✓ Cualquier problema, tanto físico, emocional o psicológico, que impida realizar los test máximos o la prueba incremental.
- ✓ Haber realizado un esfuerzo físico de alta intensidad el día anterior.

## **VARIABLES**

### **Variables Independientes:**

#### Concentración de Lactato.

- ✓ Definición Conceptual: Contenido de lactato que se encuentra circulando por el torrente sanguíneo.
- ✓ Definición Operacional: Lactato expresado en mili molar (mM), obtenido a través de una muestra de sangre analizada por el equipo Accutrend Plus de Roche.

#### Tiempo de Carrera.

- ✓ Definición Conceptual: Magnitud física que expresa la duración del cambio de posición de un cuerpo en un espacio determinado durante una carrera.
- ✓ Definición Operacional: Tiempo obtenido al recorrer una distancia de 800 m. y 2800 m. con un esfuerzo máximo del sujeto.

### **Variable Dependiente:**

Velocidad de Carrera.

- ✓ Definición Conceptual: Magnitud física que expresa la variación de posición de un objeto en función del tiempo durante una carrera.
- ✓ Definición Operacional: Velocidad obtenida de la fórmula de regresión lineal distancia/tiempo, y velocidad alcanzada al momento de obtenerse el ULa.

### **Variables Control**

- ✓ Sensación de fatiga.
- ✓ Frecuencia cardiaca.
- ✓ Presión arterial (Apéndice 3).

### **Variables desconcertantes.**

- ✓ Motivación de cada sujeto.
- ✓ Cumplimiento de una alimentación adecuada.
- ✓ Cumplimiento de un descanso adecuado.
- ✓ Características del ambiente en que fue realizada la prueba como: ruido ambiental, temperatura, hora en que se realizó la prueba y humedad relativa entre otros.

Estas variables pueden incidir en el rendimiento óptimo de cada sujeto, ya que afectan el estado fisiológico de cada uno de ellos. Por este motivo fue necesario minimizarlas al máximo, para lograr resultados objetivos.

## **PROTOCOLO DE ESTUDIO**

A cada participante se le instruyó acerca de los alcances del estudio, criterios y riesgos posibles, debiendo posterior a ello firmar un consentimiento de aceptación para ser sujeto de estudio.

Se les indicó que no debían entrenar al menos dos días antes de la toma de datos, además de mantener una buena alimentación, la cual debió ser similar a la habitual a los días de entrenamiento y que a su vez no debían realizar actividades que generaran desgaste físico. Para el día de la toma de datos debieron asistir con la indumentaria de competencia (o la más cómoda para cada sujeto), de esta manera se obtuvo su máximo rendimiento físico.

Para evitar influencia de un test sobre el otro, se dividió a la población en dos grupos de manera aleatoria, uno de ellos realizó en primer lugar la prueba de campo y test de lactato y luego la determinación de la velocidad crítica, y el otro grupo lo ejecutó de manera inversa.

Por otra parte se les midió frecuencia cardíaca y presión arterial, además de registrar el nivel de fatiga (Escala de Borg) posterior a cada control, para determinar el nivel de esfuerzo realizado en cada prueba, y de esta manera se aseguró que cada test fue desarrollado de forma correcta.

Durante todo el proceso de recolección de datos se necesitó de una pista sintética de 400m. además de lápices, hojas de anotaciones y cronómetro (Anexo 5).

### **1.- Determinación de la velocidad crítica.**

La determinación de VC para los fondistas se realizó con regresión de la fórmula lineal distancia – tiempo ( $TD: CAC + VC \times t$ ), basado en los datos de controles máximos de 800 y 2800 metros. Éste determinó una velocidad en metros por segundo (m/s), la cual se relacionó con el umbral del lactato obtenido a través de la prueba de campo para su análisis de concordancia. Al inicio y al final de los controles se realizó la determinación de la fatiga a través de la escala de Borg modificada (Anexo 6), frecuencia cardíaca y presión arterial para los fines antes descritos.

## **2.- Prueba de campo y test de lactato.**

Antes de comenzar la prueba se realizó la toma de los niveles basales de la frecuencia cardiaca y presión arterial; a través de un monitor cardiaco Forerunner 310 marca Garmin y esfigmomanómetro respectivamente. Además se estableció la percepción de fatiga a través de la Escala de Borg modificada al inicio y al final de la prueba.

Cada individuo realizó un calentamiento compuesto de 10 minutos de trote y elongación de grupos musculares de extremidades superiores e inferiores. La velocidad de trote fue elegida por cada sujeto de estudio correspondiente a un calentamiento general común de entrenamiento

Posteriormente se realizó un protocolo incremental de escalones de 800 metros cada uno, comenzando con el primer escalón a una velocidad de 12 km/h. con un aumento de 1 km/h. por cada escalón. Para la correcta ejecución del ritmo de carrera en cada escalón, se utilizó un monitor cardiaco Forerunner 310 marca Garmin, que mediante GPS determinó la velocidad actual de carrera. Además, los sujetos contaron con información visual cada 100 m. del ritmo mantenido en cada escalón. El test fue el mismo para todos los sujetos y se efectuó la medición de la temperatura y humedad ambiental en el momento de ejecución de la prueba con el equipo thermo-hygrometer modelo 303.

Dentro de la prueba de campo, posterior a cada escalón, se realizó una pausa de 30 segundos para la obtención de la muestra sanguínea; para su análisis se utilizó un equipo Accutrend Plus de Roche y las tiras de lactato Roche del mismo laboratorio (Anexo 7). Los datos registrados fueron traspasados a un equipo computacional para la obtención del ULa, utilizando la aplicación de Excel de Microsoft Office y posteriormente se realizó el análisis estadístico.

El término de la prueba se efectuó al momento en que se producía un aumento exponencial del lactato, o cuando el participante se detenía por motivos de agotamiento. Cada sujeto fue instruido sobre las condiciones de realización de la prueba, y efectuó una adaptación a los ritmos de velocidad en los primeros escalones del test.

## PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

---

Los datos fueron recolectados en tablas de distribución de frecuencia y estadígrafos de posición.

El análisis de los datos fue realizado a través de la prueba estadística de Bland-Altman para determinar concordancia entre los métodos y la prueba de t de Student para comprobar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre ambos métodos.

### RESULTADOS

#### Prueba incremental

Todos los sujetos que participaron en el test incremental, lograron finalizar la prueba de manera exitosa. Por otra parte, dentro del total de personas, 2 llegaron al escalón La19 (19 km/h), 5 al escalón La18 (18 km/h), 5 al escalón La17 (17 km/h) y 1 al escalón La16 (16 km/h). El detalle de los niveles de lactato alcanzado en cada escalón para cada sujeto se encuentra en el Apéndice 4.

El ULa se determinó en los estadígrafos de posición a partir del punto de quiebre y aumento exponencial de la curva del lactato. A continuación, a modo explicativo, se presenta la curva del sujeto 5 (Fig.2).

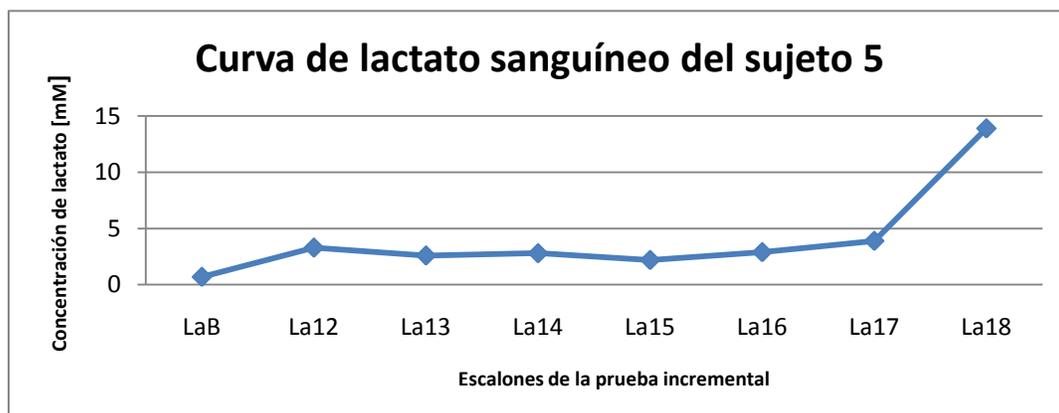


Figura 1: Curva de lactato sanguíneo del sujeto 5, obtenida a través de una prueba incremental con un total de 7 escalones.

Como se puede apreciar en la Fig. 1, el punto de quiebre en la curva se observa en el escalón La17, el cual representaría el umbral del lactato, alcanzado a una velocidad de 17 km/h. La velocidad que se obtiene en el umbral de lactato de cada sujeto se encuentra en el Apéndice 5.

La respuesta cardiovascular al realizar el test incremental mostró un aumento importante en la frecuencia cardiaca (FC), donde los niveles basales presentaron una media de 73,8 latidos por minuto (lpm), aumentando a 176,5 lpm al momento de finalizar la prueba.

La PA sistólica también aumentó al terminar el test, presentando una media de 120,3mmHg al inicio de la prueba, y finalizando con una media de 202,3mmHg.

Por otro lado, la sensación de fatiga expresada por los participantes varió desde un rango entre fatiga leve y nada en relación a la escala de Borg modificada, justo antes de ejecutar la prueba, hasta finalizar con un nivel de cansancio que iba desde fatiga muy severa a fatiga muy, muy severa. El detalle de las variables control de cada sujeto se encuentra en el Apéndice 6.

### **Velocidad crítica**

Se cuantificó el tiempo de carrera para los 800 y 2800 metros a máxima velocidad (Apéndice 7) y posteriormente se realizó el cálculo de la velocidad crítica según la fórmula mencionada en el marco teórico. A modo de ejemplo, se encuentra el cálculo de la velocidad crítica para el sujeto 1 en el Apéndice 8.

En relación a las variables control, los resultados fueron semejantes a los obtenidos en la prueba incremental (Apéndice 9 y 10).

### **Condiciones ambientales**

Las condiciones ambientales al momento de ejecutarse la prueba incremental y los controles de 800 y 2800 metros fueron semejantes, sin afectar el rendimiento de los sujetos de estudio.

Se midió la temperatura ambiental y humedad relativa a través del equipo thermo-hygrometer modelo 303 en los días de la toma de datos. El detalle de ambas se encuentra en el Apéndice 11.

### **Análisis de las velocidades entregadas por ambos métodos.**

#### **Método de Bland-Altman**

Para el análisis estadístico se utilizó el Software GraphPad 5. En primer lugar se estandarizó la unidad de medición de la velocidad en m/s. Posteriormente se calculó la diferencia y la media entre ambas velocidades medidas para cada sujeto de estudio, y de esta forma cumplir con los requerimientos para usar el método de Bland-Altman.

Los datos obtenidos se encuentran en la Tabla I.

Tabla I: Diferencia y media de la velocidad a la cual se obtuvo el umbral del lactato y la velocidad obtenida a través de la fórmula de velocidad crítica para cada sujeto

<b>VULa (km/h)</b>	<b>VULa (m/s)</b>	<b>VVC(m/s)</b>	<b>Diferencia (m/s)</b>	<b>Media (m/s)</b>
17	4,72	4,65	0,06	4,68
16	4,44	4,24	0,19	4,34
17	4,72	4,52	0,20	4,62
16	4,44	4,39	0,05	4,41
17	4,72	4,49	0,22	4,60
15	4,16	3,94	0,22	4,05
16	4,44	4,19	0,24	4,32
18	5,00	5,19	-0,19	5,09
16	4,44	4,46	-0,01	4,45
17	4,72	4,41	0,30	4,56
14	3,88	3,88	0,00	3,88
15	4,16	3,96	0,20	4,06
15	4,16	3,97	0,19	4,06

VULa: Velocidad en la cual se obtuvo el ULa. VVC: Velocidad obtenida a través de la fórmula de VC. m/s: metros por segundos.

Con los datos obtenidos fue aplicado el método de Bland y Altman (1986) para examinar la concordancia entre las dos mediciones, que en este caso fueron la concordancia entre la velocidad crítica y la velocidad a la cual se obtiene el umbral del lactato (Fig.2).

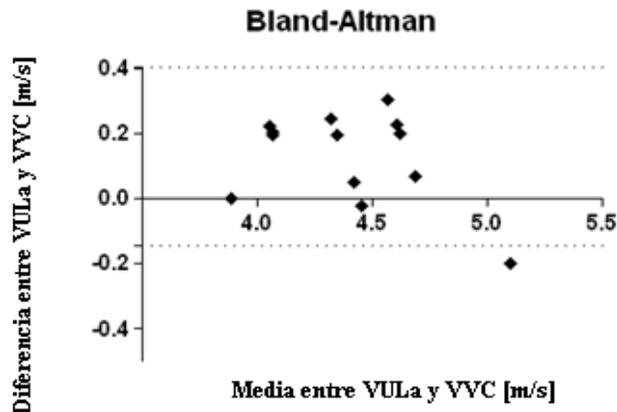


Figura 2: Gráfico Bland-Altman. En el eje y se encuentra la diferencia entre la velocidad en la cual se obtuvo el umbral del lactato (VULa) y la velocidad obtenida a través de la fórmula de velocidad crítica (VVC); en el eje x está la media entre ambas velocidades. La línea continua define el sesgo, y las líneas de puntos definen los límites superior e inferior de concordancia (95%).

Como se puede apreciar en la fig. 2, existe un error sistemático del segundo método (fórmula de velocidad crítica) sobre el primero, reflejado en la ubicación de los puntos, los cuales se encuentran mayoritariamente sobre el eje x.

A su vez, se calculó la media de las diferencias, entregando un valor de 0,128 m/s, lo cual quiere decir que, en promedio, las velocidades medidas a través de la fórmula de VC eran 0,128 m/s menor a las velocidades obtenidas al alcanzar el ULa.

## **Prueba t de Student**

Se utilizó el Software STATA para el análisis estadístico a través de la prueba t de Student, muestras pareadas (Apéndice 12).

Los resultados indican que hay una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las variables VULa y VVC ( $t = 3.3893$ ,  $p = 0.0054$ ). En otras palabras, los resultados empleando el método del umbral del lactato tienen una media mayor estadísticamente significativa que los resultados empleando la fórmula de la velocidad crítica, (4.461538) y (4.33), respectivamente.

## **CONCLUSIÓN**

Los atletas, pertenecientes al club de fondistas del Colegio San Ignacio del Bosque de Providencia, realizaron las pruebas de 800/2800 metros y el test incremental bajo criterios de máximo esfuerzo, lo cual se puede comprobar a través de la respuesta cardiovascular y de la percepción de fatiga de cada uno de los sujetos.

Según los datos obtenidos, los resultados son similares para todos los atletas, independiente de la prueba que se realizó primero, por lo cual no existe incidencia de un método sobre otro.

Respecto a la relación entre la velocidad entregada por la fórmula de velocidad crítica y la del umbral del lactato, se observó diferencias de no más de 0,3 m/s. Sin embargo, ésta diferencia es estadísticamente significativa. Además a través del análisis estadístico de Bland-Altman, se logró establecer que no habría concordancia entre las velocidades obtenidas por los métodos anteriormente mencionados.

## DISCUSIÓN

---

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente estudio, se encontró que los atletas del club de fondista del Colegio San Ignacio del Bosque no presentaban concordancia entre la velocidad que se obtiene en el umbral del lactato (VULa) y la velocidad obtenida con la fórmula de velocidad crítica (VVC), lo que significaría que ambos métodos no podrían ser intercambiables para la obtención del umbral anaeróbico.

En primer lugar es importante mencionar que la VC es aplicable en instancias donde el costo de energía por unidad de distancia de locomoción es independiente de la velocidad, tal como sucede en el trote (Smith y Jones 2001, Pringle y Jones 2002). La distancia máxima cubierta está en función del aprovechamiento completo de las reservas anaeróbicas y la VC, para que se cumpla esta última, el costo de energía debe ser constante e independiente de la velocidad (di Prampero 1999). Bajo esta perspectiva, el determinar la VC por métodos que son dependientes de las reservas energéticas para obtener el mejor tiempo, puede desvirtuar los datos obtenidos, siendo complicado asumirla como velocidad de umbral anaeróbico.

Otra posible razón de los resultados no concordantes entre los distintos métodos analizados, es que la velocidad crítica tiende a sobreestimar (Martin y Whyte 2000, Denadai y cols. 2005, Smith y Jones 2001, Pringle y Jones 2002) o subestimar (Toubekis y cols. 2006) la velocidad que se obtiene en el ULa. Estas diferencias se pueden dar por la metodologías utilizadas en relación a la fórmula de VC (Denadai y cols. 2005, Dekerle y cols. 2008) y por las distancias ocupadas en ella, es así como la inclusión de largas distancias puede subestimar los valores de la VC, mientras que la combinación de cortas distancias puede conducir a una sobreestimación (Toubekis y cols. 2006). En este estudio se utilizaron distancias combinadas, una siendo de alto generación de lactato y otra de nivel de

generación media, concordante con las distancia propuestas por el estudio de Bisciotti y cols. (2003), donde califican esas distancias como las más cercanas al umbral anaeróbico. Este factor puede alterar los datos obtenidos, ya que ambas dependen del componente muscular y éste a su vez, de las cualidades físicas predominantes en la curva de entrenamiento, las cuales no fueron controladas en este estudio, incidiendo tal vez en los resultados no concordantes de ambos métodos.

Bajo el mismo contexto, existe evidencia que entrenamientos largos llevados a la fatiga tienden a disminuir el poder crítico (Pringle y Jones 2002), el cual es homólogo a la VC (Pepper y cols. 1992). En variadas ocasiones, aún con largos periodos de descanso, es posible que las reservas energéticas no sean restauradas completamente, produciendo que en el momento de la aplicación de los test de 800 y 2800 metros, se generara un temprano aumento de acidosis metabólica, dando lugar a la aparición de la fatiga antes del agotamiento de las reservas de combustibles (Martin y Whyte 2000).

Por otra parte, la mayor limitación de los modelos hiperbólicos de la actuación humana, es la suposición de que la potencia aeróbica máxima se puede mantener por un período indefinido de tiempo (Peronnet y Thibault 1989). Es bien sabido que, debido a factores como el agotamiento del sustrato, regulación de la temperatura, y el equilibrio de líquidos y electrolitos, se puede contribuir a la fatiga durante ejercicios prolongados, por lo tanto la expresión matemática de la VC es poco probable que sea una representación precisa de una velocidad infinita y sostenible (Dekerle y cols. 2008), haciendo que una de las distancias utilizadas para su cálculo, la de 2800 metros, puede generar una situación similar a la descrita anteriormente, afectando la suposición desprendida del resultado de VC.

Por otro lado, existe escasa literatura en base a la utilización de la VC en pruebas de campo para fondistas, puesto que la gran mayoría son realizadas en laboratorio. No obstante, Kranenburg y Smith, en 1996 realizaron una comparación entre la VC obtenida en *treadmill* y en prueba de campo.

Ambos test fueron buen predictor de la velocidad de carrera, sin embargo, el *treadmill* predijo velocidades más rápidas que la velocidad de carrera real. A su vez se observó que la mayoría de los atletas prefieren tener un objetivo (es decir, correr una distancia tan rápido como sea posible) en lugar de un objetivo nebuloso de mantener la velocidad durante el mayor tiempo posible, es así como la motivación o la capacidad de soportar el dolor puede haber influido en los resultados de Kranenburg y Smith. La diferencia en el funcionamiento del *treadmill* puede ser la razón de una sobreestimación en relación a una prueba de campo, ya que el primero no se ve afectado por la resistencia del aire, sumado a que en el *treadmill* se disminuye la energía necesaria para propulsar el cuerpo. Por lo tanto, las pruebas en pendiente del 0% podrían explicar la sobreestimación de la VC en comparación con las pruebas de campo, en consecuencia la VC en esta última, representa más variación en el rendimiento de carrera y mayor facilidad de administración a los atletas motivados (Kranenburg y Smith 1996). Bajo este aspecto, la realización de la pruebas para la determinación de VC en campo, puede ser la razón de la subestimación de la mayoría de los sujetos, donde las condiciones ambientales y de gasto energético de la carrera, juegan un rol fundamental en la obtención de valores maximales.

En resumen, la velocidad obtenida a través de la fórmula de velocidad crítica no puede ser utilizada como una alternativa simple no invasiva en la determinación de la velocidad que se obtiene en el umbral del lactato según nuestro estudio, por lo tanto no podría ser utilizada como una intensidad de ejercicio en umbral anaeróbico.

## PROYECCIONES

---

El presente estudio entrega nuevas referencias respecto a la utilización de la fórmula de velocidad crítica en pruebas de campo para fondistas. Aún cuando no se encontró concordancia con el umbral de lactato, se abre la posibilidad de incrementar el número de investigaciones para proporcionar un espectro mayor de conocimiento sobre este método en pruebas de campo.

Por esta razón deben realizarse estudios en muestras mayores, bajo situaciones aun más controladas, con diferentes rangos etarios y diferentes niveles de rendimiento, para poder tener una visión definitiva de la validez del VC como determinante del umbral anaeróbico en pruebas de campo.

## BIBLIOGRAFÍA

---

- Billat, V. 2002. El rendimiento Deportivo. En su: Fisiología y Metodología del entrenamiento, de la teoría a la práctica. 1ª ed. España, Editorial Paidotribo. Pp.9-44.
- Billat, V. 2002. El entrenamiento Deportivo. En su: Fisiología y Metodología del entrenamiento, de la teoría a la práctica. 1ª ed. España, Editorial Paidotribo. Pp.129-175.
- Billat, L.V. 1996. Use of blood lactate measurements for prediction of exercise performance and for control of training. *Sports Med.* **22**(3):157-175.
- Billat, L.V., J.P. Koralsztein, y R.H. Morton. 1999. Time in Human Endurance Models, from empirical models to physiological models. *Sports Med.* **27**(6):359-379.
- Bisciotti, G.N., P.P. Iodice, E. Arcelli, E. Filaire, y M. Sagnol. 2003. Un test de terrain simple pour la détermination du seuil anaérobie. *Science & Sports.* **18**:46-47.
- Bland J.M., y D.G. Altman. 1986. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *The Lancet.* **1**:307-310.
- Bosquet, L., P.R. Delhors, A. Duchene, G. Dupont, y L. Leger. 2007. Anaerobic running capacity determined from a 3-Parameter systems model: Relationship with other anaerobic indices and with running performance in the 800m-run. *Int J Sports Med.* **28**:495-500.
- Bosquet, L., A. Duchene, F. Lecot, G. Dupont, y L. Leger. 2006. Vmax estimate from three-parameter critical velocity models: validity and impact on 800m running performance prediction. *Eur J Appl Physiol.* **97**:34-42.
- Brickley, G., J. Doust, y C.A. Williams. 2002. Physiological responses during exercise to exhaustion at critical power. *Eur J Appl Physiol.* **88**:146-151.

- Buchheit, M., P.B. Laursen, G.P. Millet, F. Pactat, y S. Ahmaidi. 2008. Predicting intermittent running performance critical velocity versus endurance index. *Int J Sports Med.* **29**:307-315.
- Buckley, J.D., P.C. Bourdon, y S.M Woolford. 2003. Effect of measuring blood lactate concentrations using different automated lactate analyzers on blood lactate transition threshold. *Journal of Science and Medicine in Sport.* **6**(4):408-421.
- Bull, A.J., T.J. Housh, G.O. Johnson, y S.R. Rana. 2007. Physiological responses at five estimates of critical velocity. *Eur J Appl Physiol.* **102**:711-720.
- Busso, T., y M. Chatagnon. 2006. Modelling of aerobic and anaerobic energy production in middle-distance running. *Eur J Appl Physiol.* **97**:745-754.
- Chicharro, J.L., J.C. Arce y N. Terrados. 1991. Umbral láctico. En su: Umbral anaerobio bases fisiológicas y aplicación. 1ª ed. Madrid. Editorial Interamericana. Pp.115-136.
- Conconi, F., M. Ferrari, P.G. Ziglio, P. Droghetti, y L. Codeca. 1982. Determination of the anaerobic threshold by a noninvasive field test in runners. *Eur J Appl Physiol.* **52**(4):869-873.
- David, J.A. 1985. Anaerobic threshold: Review of the concept and directions for future research. *Med Sci Sports Exerc.* **17**:6-18.
- David, J.A., R. Rozenek, D.M. DeCicco, M.T. Carizzi, y P.H. Pham. 2007. Comparison of three methods for detection of the lactate threshold. *Clin Physiol Funct Imaging.* **27**:381-384.
- Dekerle, J., B. Baron, L. Dupont, J. Vanvelcenaher, y P. Pelayo. 2003. Maximal lactate steady state, respiratory compensation threshold and critical power. *Eur J Appl Physiol.* **89**:281-288.
- Dekerle, J., G. Brickley, A.J. Hammond, J.S.M. Pringle, y H. Carter. 2006. Validity of the two-parameter model in estimating the anaerobic work capacity. *Eur J Appl Physiol.* **96**:257-265.
- Dekerle, J., A. Vanhatalo, y M. Burnley. 2008. Determination of critical power from a single test. *Science & Sports.* **23**:231-238.

- Denadai, B.S., E.B.G. Gomide, y C.C. Greco. 2005. The relationship between onset of blood lactate accumulation, critical velocity, and maximal lactate steady state in soccer players. *J. Strength Cond. Res.* **19**(2):364-368.
- Denis, C., R. Fouquet, P. Poty, A. Geysant, y J.R. Lacour. 1982. Effect of 40 weeks of endurance training on the anaerobic threshold. *Eur J Appl Physiol.* **3**:208-214.
- di Prampero, P.E. 1999. The concept of critical velocity: a brief analysis. *Eur J Appl Physiol.* **80**:162-164.
- di Prampero, P.E. 2003. Factors limiting maximal performance in humans. *Eur J Appl Physiol.* **90**:420-429.
- Ferguson, C., H.B. Rossiter, B.J. Whipp, A.J. Cathcart, S.R. Murgatroyd, y S.A. Ward. 2010. Effect of recovery duration from prior exhaustive exercise on the parameters of the power-duration relationship. *J Appl Physiol.* **108**:866-874.
- Ferguson, C., B.J Whipp, A.J. Cathcart, H.B. Rossiter, A.P. Turner, y S.A. Ward. 2007. Effects of prior very-heavy intensity exercise on indices of aerobic function and high-intensity exercise tolerance. *J Appl Physiol.* **103**:812-822.
- Farrell, P.A., J.H. Wilmore, E.F. Coyle, J.E. Billing, y D.L. Costill. 1979. Plasma lactate accumulation and distance running performance. *Medicine and Science in Sports.* **11**(4):335-344.
- Florence, S.L, y J.P. Weir. 1997. Relationship of critical velocity to marathon running performance. *Eur J Appl Physiol.* **75**:274-278.
- Gaesser, G.A., T.J.Carnevale, A. Garfinkel, D.O. Walter, y C.J. Womack.1995. Estimation of critical power with nonlinear and linear models. *Med Sci Sports Exerc.* **27**:1430-1438.
- Gondim, F.J., C.C. Zoppi, L. Pereira-da-Silva, y D. Vaz de Macedo.2007. Determination of the anaerobic threshold and maximal lactate steady state speed in equines using the lactate minimum speed protocol. *Comparative Biochemistry and Physiology. Part A* **146**:375-380.

- González, J.M. 2004. Técnicas Electroquímicas. En su: Técnicas y métodos de laboratorio. 2<sup>a</sup> ed. España. Editorial Masson. Pp. 190-212.
- Graham, T.E., y B. Saltin. 1989. Estimation of the mitochondrial redox state in human skeletal muscle during exercise. *J Appl Physiol.* **66**:561-566.
- Greco, C.C., A.D. Bianco, E. Gomide, B.S. Denadai. 2002. Validity of the critical speed to determine blood lactate response and aerobic performance in swimmers aged 10-15 years. *Science et sports.* **17**:306-308.
- Greco, C.C., F. Caputo, y B.S. Denadai. 2008. Critical power and maximal oxygen uptake: Estimating the upper limit of the severe domain, a new challenge?. *Science & Sports.* **23**:216-222.
- Green, S. 1995. Measurement of anaerobic work capacities in humans. *Sports Med.* **19**:32-42.
- Green, S., y B. Dawson. 1993. Measurement of anaerobic capacities in humans, definitions, limitations and unsolved problem. *Sports Med.* **15**:312-327.
- Haverty, M., W.L. Kenny, y J.L. Hodgson. 1988. Lactate and gas exchange responses to incremental and steady state running. *Brit J Sports Med.* **22**(2):51-54.
- Hill, A.V. 1927. Muscular movement in man: the factors governing speed and recovery from fatigue. 3<sup>a</sup> ed. New York, McGraw-Hill. Pp. 41-44.
- Hollmann, W. 1985. Historical remarks on the development of the aerobic-anaerobic threshold up to 1966. *Int J Sports Med.* **6**:109-116.
- Hopkins, W.G., I.M. Edmund, B.H. Hamilton, D.J. MacFarlane, y B.H. Ross. 1989. Relation between power and endurance for treadmill running of short duration. *Ergonomics.* **32**:1565-1571.
- Housh, T.J., J.T. Cramer, A.J. Bull, G.O. Johnson, y D.J. Housh. 2001. The effect of mathematical modeling on critical velocity. *Eur J Appl Physiol.* **84**:469-475.
- Housh, T.J., G.O. Johnson, S.L. McDowell, D.J Housh, y M. Pepper. 1991. Physiological responses at the fatigue threshold. *Int J Sports Med.* **12**:305-308.

- Hughson, R.L., C.J Orok, y L.E. Staudt. 1984. A high velocity treadmill running tests to assess endurance running potential. *Int J Sports Med.* **5**:23-25.
- Jacobs, I. 1986. Blood lactate: implications for training and sports performance. *Int J Sports Med.* **3**:10-25.
- Keith, S.P., I. Jacobs, y T.M. McLellan. 1992. Adaptations to training at individual anaerobic threshold. *Eur J Appl Physiol.* **65**:316-323.
- Kinderman, W., G. Simon, y J. Keul. 1979. The significance of the aerobic-anaerobic transitions for determination of workload intensities during endurance training. *Eur J Appl Physiol.* **42**:25-34.
- Kranenburg, K.J., y Smith D. J. 1996. Comparison of critical speed determined from track running and treadmill tests in elite runners. *Med Sci Sports Exerc.* **28**(5):614-8.
- Kumagai, S., K. Tanaka, Y. Matsuura, A. Matsuzaka, K. Hirakoba, y A. Katsumi. 1982. Relationships of the anaerobis threshold with the 5 km, 10 km, and 10-mile races. *Eur J Appl Physiol.* **49**:13-23.
- Martin, L., y G.P. Whyte. 2000. Comparison of critical swimming velocity and velocity at lactate threshold in elite triathletes. *Int J Sports Med.* **21**:366-368.
- Mazza, J.C .1985.Ácido láctico y ejercicio. *Actualización en Ciencia en Deporte.***1**(1):15-20
- McArdle, W.D., F.I. Katch, y V.L. Katch. 2004. *Fundamentos de fisiología del ejercicio.* 2ª ed. España, Madrid, McGraw-Hill -Editorial Interamericana. Pp. 98-403.
- MedbØ, J.I., A. Mamen, O.H. Olsen, y F. Evertsen. 2000. Examination of four different instruments for measuring blood lactate concentration. *Scand J Clin Lab Invest.* **60**:367-380.
- Monod, H., y J. Scherrer. 1965. The work capacity of a synergic muscular group. *Ergonomics.* **8**:329-338.
- Moritani, T., A. Nagata, H.A. de Vries, y M. Muro. 1981. Critical power as a measure of physical work capacity and anaerobic threshold. *Ergonomics.* **24**:339-350.
- Morton, R.H., y L.V. Billat. 2004. The critical power model for intermittent exercise. *Eur J Appl Physiol.* **91**:303-307.

- Morton, R.H., y D.J. Hodgson. 1996. The relationship between power output an endurance: a brief review. *Eur J Appl Physiol.* **73**:491-502.
- Nummela, A., T. Keränen, y L.O. Mikkelsen. 2007. Factors Related to top running speed and economy. *Int J Sports Med.* **28**:655-661.
- Owles, W.H. 1930. Alterations in the lactic acid content of the blood as a result of light exercise, and associated changes in the CO<sub>2</sub> combining power of the blood and in the alveolar CO<sub>2</sub> pressure. *J Physiol.* **69**:214-237.
- Pepper, M.L., T.J. Housh, y G.O. Johnson.1992. The accuracy of the critical velocity test for predicting time to exhaustion during treadmill running. *Int J Sports Med.* **13**:121-124.
- Peronnet, F., y G. Thibault. 1989. Mathematical analysis of running performance and world running records. *J. Appl. Physiol.* **67**:453-465.
- Pringle, J.S.M., y A.M. Jones. 2002. Maximal lactate steady state, critical power and EMG during cycling. *Eur J Appl Physiol.* **88**:214-226.
- Simoes, H.G., C.S. Grubert, E. Kokubum, B.S. Denadai, y V. Baldissera. 1999. Blood glucose responses in humans mirror lactate responses for individual anaerobic threshold and for lactate minimum in track test. *Eur J Appl Physiol.* **80**:34-40.
- Sjodin, B., I. Jacobs, y J. Karlsson. 1981. Onset of blood lactate accumulation and marathon running performance. *Int J Sports Med.* **2**:23-26.
- Smith, C.G.M., y A.M. Jones. 2001. The relationship between critical velocity, maximal lactate steady-state velocity and lactate turnpoint velocity in runners. *Eur J Appl Physiol.* **85**:19-26.
- Smith, E.W., M.S. Skelton, D.E. Kremer, D.D. Pascoe, y L.B. Gladden. 1997. Lactate distribution in the blood during progressive exercise. *Med Sci Sport Exerc.* **29**:654-660.
- Spencer, M.R., y P.B. Gastin. 2001. Energy system contribution during 200-to 1500-m running in highly trained athletes. *Med Sci Sports Exerc.* **33**(1):157-162.

- Stegmann, H., y W. Kinderman. 1982. Comparison of prolonged exercise tests at the individual anaerobic threshold and fixed anaerobic threshold of 4 mmol/l lactate. *Int J Sports Med.* **3**:105-110.
- Stegmann, H., W. Kinderman, y A. Schnabel. 1981. Lactate kinetics and individual anaerobic threshold. *Int J Sports Med.* **2**:160-165.
- Svedahl, K., y B.R. MacIntosh. 2003. Anaerobic threshold: The concept and methods of measurement. *Can J Appl Physiol.* **28**(2):299-323.
- Tanaka, K., Y Matsuura, A. Matsuzaka, K. Hirakoba, S. Kumagai, S.O. Sun, y K. Asano. 1984. A longitudinal assessment of anaerobic threshold and distance-running performance. *Med Sci Sports Exerc.* **16**:278-282.
- Tegtbur, U., M.W. Busse, y K.M. Braumann. 1993. Estimation of an individual equilibrium between lactate production and removal during exercise. *Med Sci Sports Exerc.* **25**:620-627.
- Toubekis, A.G., A.P. Tsami, y S.P. Tokmakidis. 2006. Critical Velocity and lactate threshold in young swimmers. *Int J Sports Med.* **27**:117-123.
- Vandewalle, H. 2008. Puissance critique: passé, present et future d'un concept. *Science & Sports.* **23**:223-230.
- Wasserman, K., J.E. Hansen, D.Y. Sue, W.W. Stringer, y B.J. Whipp. 2005. Principles of exercise testing and interpretation. 4<sup>a</sup> ed. Philadelphia, PA: Lippincott Williams and Wilkins. Pp.86-90.
- Weltman, A., D. Snead, P. Stein, R. Seip, R. Schurrer, R. Rutt, y J. Weltman. 1990. Reliability and validity of a continuous incremental treadmill protocol for the determination of lactate threshold, fixed blood lactate concentrations, and Vo<sub>2</sub>max. *Int J Sports Med.* **11**:26-32.
- Whipp, B.J., D.J. Huntsman, T. Storer, N. Lamarra, y K. Wasserman. 1982. A constant which determines the duration of tolerance to high intensity work. *Fed Proc.* **41**:1591.
- Wilmore, J.H., y D.L. Costill. 2004. Sistemas energéticos básicos. En su: *Fisiología del esfuerzo y del deporte.* 5<sup>a</sup> ed. España, Editorial *Paidotribo*. Pp.114-155.

## APÉNDICES

---

### Apéndice 1

#### Población de estudio.

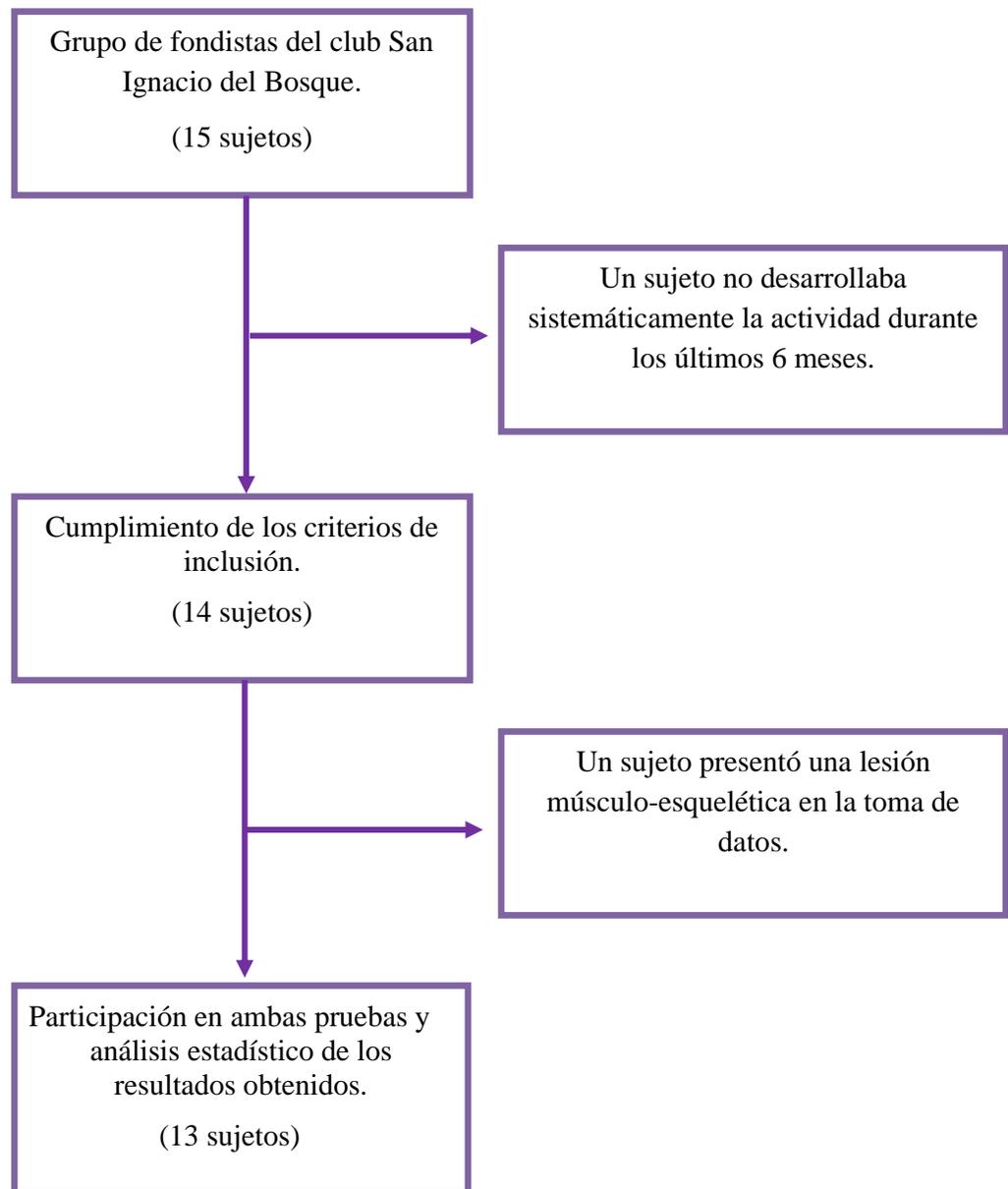


Figura 3: Diagrama de flujo de la población de estudio.

## Apéndice 2

### CONSENTIMIENTO INFORMADO

Yo, \_\_\_\_\_, Rut \_\_\_\_\_

He sido informado de todos los alcances, métodos y potenciales riesgos para mi salud al participar en el estudio **“Concordancia de la estimación del umbral anaeróbico mediante la fórmula de velocidad crítica y umbral láctico en atletas fondistas amateurs”**.

Asumiendo todo aquello, acepto ser sujeto de estudio respetando todas las condiciones para su buena ejecución.

Así también, declaro cumplir con todos los criterios para ser parte de este estudio:

1. Pertenecer al grupo de entrenamiento muestral.
2. Llevar al menos 6 meses de un entrenamiento planificado.
3. No haber sufrido alguna lesión músculo-esquelética en el último mes que me impidiera la realización de mi planificación de entrenamiento.

---

FIRMA

---

FECHA

## Apéndice 3

### Variables Control.

#### Sensación de fatiga.

- ✓ Definición Conceptual: Estado en el cual un individuo expresa una sensación de cansancio o debilidad, aún cuando esta sensación se manifiesta sin haber existido esfuerzo físico anterior.
- ✓ Definición Operacional: Percepción individual de esfuerzo y/o cansancio determinada a través de la escala de Borg modificada.

#### Frecuencia cardiaca.

- ✓ Definición Conceptual: Número de veces que el corazón se contrae por minuto.
- ✓ Definición Operacional: Número de latidos detectados por el monitor cardiaco Forerunner 310 marca Garmin.

#### Presión arterial.

- ✓ Definición Conceptual: Presión ejercida por la sangre contra la pared de las arterias.
- ✓ Definición Operacional: Presión entregada a través del esfigmomanómetro con manguito y fonendoscopio.

## Apéndice 4

### Niveles de lactato en el test incremental para cada sujeto.

Tabla II: Niveles de lactato en el test incremental para cada sujeto

Sujeto	LaB (mM)	La12 (mM)	La13 (mM)	La14 (mM)	La15 (mM)	La16 (mM)	La17 (mM)	La18 (mM)	La19 (mM)
1	0.7	1.6	2.1	2	2.5	2.4	3.5	7.4	13.2
2	0.7	2.2	1.8	2.1	3.4	4.6	8.9		
3	0.7	2.6	2.3	3.1	3.3	4.1	5.3	10.3	
4	0.7	0.7	2.6	2.8	2.9	3.3	5.4	9.5	
5	0.7	3.3	2.6	2.8	2.2	2.9	3.9	13.9	
6	3.3	2.2	2.5	3.3	4.9	6.2	13.6		
7	0.7	0.7	3.3	1.9	1.8	2.8	4.1	8.3	
8	1.3	0.8	1.4	2.2	2.5	3	3.8	4.4	10.6
9	0.7	0.7	2.4	4.9	4.3	3.6	13.8		
10	0.7	1.2	2.4	1.8	2.2	2.8	3.3	9.6	
11	3.9	0.7	2.3	2.5	5.5	8.5			
12	2.8	2	2.4	2.5	3.2	5.2	16.2		
13	0.8	1.8	2	2	2.8	4.1	8.9		

LaB: Lactato basal. La12: Lactato a los 12 kilómetro/hora (km/h). La13: Lactato a los 13 km/h. La14: Lactato a los 14 km/h.

La15: Lactato a los 15 km/h. La16: Lactato a los 16 km/h. La17: Lactato a los 17 km/h. La18: Lactato a los 18 km/h. La19:

Lactato a los 19 km/h. mM: Mili molar.

## Apéndice 5

### Velocidad que se obtiene en el umbral del lactato para cada sujeto.

Tabla III: Velocidad que se obtiene en el umbral del lactato para cada sujeto

Sujeto	ULa (mM)	Velocidad (km/h)
1	3,5	17
2	4,6	16
3	5,3	17
4	3,3	16
5	3,9	17
6	4,9	15
7	2,8	16
8	4,4	18
9	3,6	16
10	3,3	14
11	2,5	15
12	3,2	15
13	2,8	17

ULa: Umbral del lactato. mM: Mili molar. km/h: kilómetro/hora.

## Apéndice 6

### VARIABLES DE CONTROL DEL TEST INCREMENTAL.

Tabla IV: Variables de control del test incremental

Sujeto	FC Inicial (lpm)	FC Final (lpm)	PA Inicial (mmHg)	PA Final (mmHg)	Sensación de fatiga inicial	Sensación de fatiga final
1	55	182	118/70	210/80	0	8
2	52	185	112/80	200/85	1	9
3	60	178	120/80	195/80	0	7
4	61	188	110/80	185/90	0	8
5	80	183	110/70	200/70	0	8
6	99	171	125/80	180/70	0	7
7	90	158	140/80	200/75	2	7
8	55	172	120/70	220/70	2	9
9	71	164	140/85	220/75	0	8
10	74	172	130/90	230/70	2	8
11	105	188	110/86	170/90	2	7
12	95	188	120/80	220/70	2	7
13	63	166	110/70	200/80	2	8

FC: Frecuencia cardiaca. lpm: Latidos por minuto. PA: Presión arterial. mmHg: Milímetros de mercurio.

Tabla V: Medidas de resumen de las variables de control del test incremental

	FC inicial (lpm)	FC final (lpm)	PA sistólica inicial (mmHg)	PA sistólica final (mmHg)
<b>Medidas de posición</b>				
<b>Media</b>	73,84	176,53	120,38	202,30
<b>Mediana</b>	71	178	120	200
<b>Moda</b>	55	188	110	200
<b>Medidas de dispersión</b>				
<b>Varianza</b>	334,97	101,93	115,92	306,73
<b>Desviación estándar</b>	18,30	10,96	10,76	17,51

Sensación de fatiga: Antes de ejecutar la prueba se encontraban en un rango entre fatiga leve y nada en relación a la escala de Borg modificada, para luego finalizar en un nivel de cansancio entre fatiga muy severa a fatiga muy, muy severa.

## Apéndice 7

### Tiempo obtenido en los 800/2800 metros y velocidad crítica para cada sujeto.

Tabla VI: Tiempo obtenido en los 800/2800 metros y velocidad crítica para cada sujeto

<b>Sujeto</b>	<b>Tiempo 800 metros (s)</b>	<b>Tiempo 2800 metros (s)</b>	<b>Velocidad crítica (m/s)</b>
<b>1</b>	148,52	578,21	4,65
<b>2</b>	158,18	628,9	4,24
<b>3</b>	153,55	608,99	4,39
<b>4</b>	155,44	598,27	4,51
<b>5</b>	156,44	601,24	4,49
<b>6</b>	165	671,94	3,94
<b>7</b>	157,7	634	4,19
<b>8</b>	125,3	510,2	5,19
<b>9</b>	145,2	593,24	4,46
<b>10</b>	152,1	604,95	4,41
<b>11</b>	164,35	678,72	3,88
<b>12</b>	172,02	676,98	3,96
<b>13</b>	174,75	678,44	3,97

s: segundos. m/s: metros por segundo

## Apéndice 8

### Cálculo de la velocidad crítica del sujeto 1 a través de la fórmula de Lin-TD.

Datos:

- ✓ Distancia 1: 800m. ( $y_1$ )
- ✓ Tiempo 1: 148,52s. ( $x_1$ )
- ✓ Distancia 2: 2800m. ( $y_2$ )
- ✓ Tiempo 2: 578,21s. ( $x_2$ )

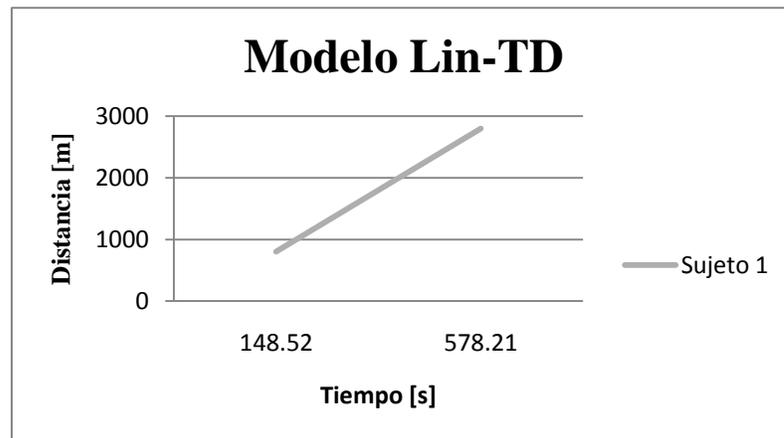


Figura 4: Gráfico del modelo lineal de distancia-tiempo del sujeto 1.

Desarrollo:

La CAC corresponde al punto donde la recta intercepta al eje y, éste se calcula a través de la ecuación de la recta conociendo dos puntos:

$$y - y_1 = (x - x_1) \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

Donde  $y$  corresponde a la CAC, cuando  $x$  es 0, y los dos puntos  $[(x_1, y_1) (x_2, y_2)]$ , equivalen a los datos obtenidos, los cuales son reemplazados en la ecuación.

$$y - y_1 = (x - x_1) \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

$$y - 800\text{m} = (0\text{s} - 148,52\text{s}) \frac{2800\text{m} - 800\text{m}}{578,21\text{s} - 148,52\text{s}}$$

$$y = 108,71 \text{ m}$$

Posteriormente, a través de la fórmula Lin-TD se obtiene la velocidad crítica.

$$\text{TD} = \text{CAC} + \text{VC} \times t$$

$$\text{VC} = \frac{\text{TD} - \text{CAC}}{t}$$

$$\text{VC} = \frac{800\text{m} - 108,71\text{m}}{148,52\text{s}}$$

$$\text{VC} = 4,65 \text{ m/s}$$

Los datos utilizados corresponden a los de 800 metros, sin embargo también se hubiera podido ocupar los de 2800 metros, puesto que la velocidad crítica representa la pendiente de la recta, igual para todos los puntos que se encuentren en ella.

## Apéndice 9

### Variables de control del test de 800 metros.

Tabla VII: Variables de control del test de 800 metros

Sujeto	FC Inicial (lpm)	FC Final (lpm)	PA Inicial (mmHg)	PA Final (mmHg)	Sensación de fatiga inicial	Sensación de fatiga final
1	68	173	118/81	188/85	0	7
2	63	185	125/80	200/85	1	8
3	72	192	115/70	230/80	0	8
4	65	186	110/75	200/80	1	8
5	69	167	110/78	220/90	0	5
6	79	181	110/80	160/70	1	10
7	73	149	120/83	220/80	1	8
8	50	188	130/80	220/80	1	10
9	65	182	150/90	230/90	2	10
10	78	184	150/90	230/90	1	9
11	70	192	130/80	220/80	1	10
12	68	175	125/80	190/85	1	10
13	65	175	125/80	210/80	1	10

FC: Frecuencia cardiaca.lpm: Latidos por minuto. PA: Presión arterial. mmHg: Milímetros de mercurio.

Tabla VIII: Medidas de resumen de las variables de control del test de 800 metros

	FC inicial	FC final	PA sistólica inicial	PA sistólica final
<b>Medidas de posición</b>				
Media	68,07	179,15	124,46	209,07
Mediana	68	182	125	215
Moda	65	192	125	220
<b>Medidas de dispersión</b>				
Varianza	53,57	137,80	178,76	431,07
Desviación estándar	7,31	11,73	13,37	20,76

Sensación de fatiga: La sensación de cansancio al inicio del control se encontraba entre fatiga muy leve y nada; al finalizar la prueba estuvo entre fatiga severa y fatiga máxima, siendo esta última percibida por 6 de los 13 sujetos.

## Apéndice 10

### Variables de control del test de 2800 metros.

Tabla IX: Variables de control del test de 2800 metros

Sujeto	FC Inicial (lpm)	FC Final (lpm)	PA Inicial (mmHg)	PA Final (mmHg)	Sensación de fatiga inicial	Sensación de fatiga final
1	73	183	120/78	190/85	1	6
2	65	178	120/80	210/85	1	7
3	68	184	125/75	200/85	2	8
4	70	178	120/80	180/80	1	7
5	85	184	120/80	220/80	0	8
6	83	176	120/80	200/70	1	9
7	83	160	120/80	180/80	1	8
8	69	178	130/80	230/80	3	10
9	85	170	120/70	210/80	1	10
10	73	176	120/80	220/90	2	9
11	79	188	120/80	200/80	3	10
12	75	162	125/80	185/82	2	9
13	70	162	125/80	180/82	1	9

FC: Frecuencia cardiaca.lpm: Latidos por minuto. PA: Presión arterial. mmHg: Milímetros de mercurio.

Tabla X: Medidas de resumen de las variables de control del test de 2800 metros

	FC inicial	FC final	PA sistólica inicial	PA sistólica final
<b>Medidas de posición</b>				
<b>Media</b>	75,23	175,30	121,92	200,38
<b>Mediana</b>	73	178	120	200
<b>Moda</b>	73	178	120	200
<b>Medidas de dispersión</b>				
<b>Varianza</b>	48,85	84,23	10,57	285,25
<b>Desviación estándar</b>	6,98	9,17	3,25	16,88

Sensación de fatiga: La percepción de cansancio al inicio de la prueba estuvo entre fatiga moderada y nada, finalizando entre un rango de 6 según la escala de Borg modificada a fatiga máxima.

## Apéndice 11

### Condiciones ambientales.

Tabla XI: Condiciones ambientales en el test incremental y en los controles de 800/2800 metros

<b>Sujeto</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Humedad (%)</b>
1	21	35
2	21	35
3	21	35
4	21	35
5	20,3	45
6	20,3	45
7	20,3	45
8	23,5	38,6
9	23,5	38,6
10	18,3	45
11	23,1	35
12	23,1	35
13	23,1	35

°C: Grados Celsius. %: Porcentaje.

Tabla XII: Medidas de resumen de las condiciones ambientales en el test incremental y en los controles de 800/2800 metros

	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Humedad (%)</b>
<b>Medidas de posición</b>		
<b>Media</b>	21,5	38,6
<b>Mediana</b>	21	35
<b>Moda</b>	21	35
<b>Medidas de dispersión</b>		
<b>Varianza</b>	2,60	25,45
<b>Desviación estándar</b>	1,61	5,04

## Apéndice 12

### Prueba t de Student

Se obtuvieron los resultados del test t para comparar las medias de las variables VULa y VVC.

Tabla XIII: Test t

VARIABLES	OBSERVACIONES	Media (m/s)	Error Estándar	Desviación estándar	Intervalo de confianza (95%)	
VULa	13	4,46	0,08	0,31	4,27	4,65
VVC	13	4,33	0,10	0,36	4,11	4,54
Diferencias		0,13	0,038	0,13	0,04	0,21

VULa: Velocidad en la cual se obtuvo el ULa. VVC: Velocidad obtenida a través del VC. m/s: metros por segundos.

$$\text{media}(\text{diff}) = \text{media}(\text{VULa} - \text{VVC})$$

$$t = 3.3893$$

$$H_0: \text{media}(\text{diff}) = 0$$

$$\text{grados de libertad} = 12$$

$$H_a: \text{mean}(\text{diff}) < 0$$

$$H_a: \text{mean}(\text{diff}) \neq 0$$

$$H_a: \text{mean}(\text{diff}) > 0$$

$$\text{Pr}(T < t) = 0.9973$$

$$\text{Pr}(|T| > |t|) = 0.0054$$

$$\text{Pr}(T > t) = 0.0027$$

Los resultados indican que hay una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las variables VULa y VVC ( $t = 3.3893$ ,  $p = 0.0054$ ). En otras palabras, los resultados empleando el método del umbral del lactato tienen una media mayor estadísticamente significativa que los resultados empleando la fórmula de la velocidad crítica, (4.461538) y (4.33), respectivamente.

## ANEXOS

---

### Anexo 1

#### **Metabolismos energéticos.**

El metabolismo se define como el conjunto de intercambios físicos y químicos que permiten transferencias de energía y que se desarrollan en el organismo, incluyendo el crecimiento, el mantenimiento y las transformaciones físicas y químicas. El metabolismo implica dos procesos fundamentales: el anabolismo, definido como el proceso de construcción (como aumento de la masa muscular) y el catabolismo, proceso de degradación (Billat 2002). El cuerpo humano recibe un aporte continuo de energía química para realizar sus funciones (McArdle y cols. 2004), energía que se extrae de los nutrientes (toda sustancia química utilizable por el organismo sin digestión previa), en especial de los glúcidos, lípidos y proteínas (Billat 2002).

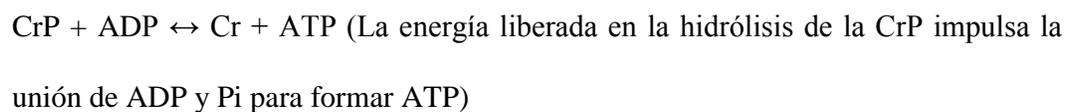
La energía de los alimentos no se transfiere directamente a las células para el trabajo biológico, sino que esta “energía de los macronutrientes” se libera y canaliza para propulsar las necesidades celulares a través de un compuesto rico en energía, el trifosfato de adenosina o ATP, transportador especial de la energía libre (McArdle y cols. 2004).

La formación de ATP surge a partir de una molécula de adenina y ribosa (denominada adenosina), ligada a tres moléculas de fosfato. Los enlaces que unen los dos fosfatos más exteriores, que se denominan enlaces de alta energía, constituyen una energía almacenada considerable dentro de la molécula de ATP. El organismo utiliza el ATP para transferir la energía producida durante las reacciones catabólicas a las reacciones propulsoras que sintetizan nuevos materiales. En esencia, este ciclo receptor de energía-donador de energía comprende las dos actividades principales de transformación de energía: Formación y conservación del ATP a partir de la energía potencial de los

alimentos y utilización de la energía del ATP para impulsar el trabajo biológico (McArdle y cols. 2004).

En el citoplasma y la mitocondria, se desarrollan las reacciones químicas que permiten metabolizar los “carburantes para el ejercicio” (lípidos, glúcidos y prótidos), para volver a sintetizar ATP (Billat 2002). Debido a que la célula almacena sólo una pequeña cantidad de ATP, éste debe sintetizarse de forma continua de acuerdo con el ritmo de utilización, lo que proporciona un mecanismo biológicamente útil para regular el metabolismo energético. Al mantener sólo una pequeña cantidad de ATP, su concentración relativa (y la concentración correspondiente de ADP) caería rápidamente con cualquier aumento de las demandas energéticas de una célula. Un desequilibrio ATP:ADP al comienzo del ejercicio estimula inmediatamente la degradación de otros compuestos almacenados que contienen energía para sintetizar de nuevo ATP. Como podría esperarse, el aumento de transferencia energética celular depende de la intensidad del ejercicio (McArdle y cols. 2004). El paso de un ejercicio intenso (y corto) a otro menos intenso (y largo) consiste en:

- 1) La rotura de la Creatina Fosfato (CrP), en el citoplasma, en creatina (Cr) y fosfato inorgánico (Pi)



Este metabolismo se llama “anaeróbico” (no interviene el O<sub>2</sub>) aláctico (no implica acumulación láctica puesto que la glicolisis no interviene) (Billat 2002).

La CrP, igual que el ATP, libera una gran cantidad de energía cuando se rompen los enlaces entre las moléculas de creatina y fosfato. La hidrólisis de la CrP para suministrar energía comienza al iniciarse el ejercicio intenso y alcanza un máximo en unos 10 segundos. La

concentración celular de ATP estimula la actividad de la creatina quinasa, la enzima que facilita la degradación de la CrP. (McArdle y cols. 2004).

- 2) La formación de lactato en el citoplasma, a partir de glúcidos, llamado “metabolismo anaeróbico láctico”, puesto que el aceptor de iones  $H^+$  es el piruvato, que es reducido a lactato.
- 3) La oxidación de lípidos y glúcidos en la mitocondria, llamado “metabolismo aeróbico”, puesto que hace intervenir el oxígeno como aceptor final de iones  $H^+$ ; lo que significa que el  $O_2$  va a formar agua y dióxido de carbono según la reacción:

$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + H_2O$  y de manera general para todos los sustratos:

$ADP + \text{sustrato (glúcido, lípido, pròtido)} + O_2 \rightarrow O_2 + ATP$  (Billat 2002).

Estos últimos dos puntos serán mayormente abordados a continuación:

### **Oxidación celular.**

A partir de los sustratos de la glicólisis y la beta-oxidación se obtiene Acetil CoA, el cual entra al ciclo de Krebs, generándose hidrógenos, que son dirigidos hacia la cadena transportadora de electrones (Wilmore 2004).

Durante la oxidación celular, los átomos de  $H^+$  no se liberan simplemente al líquido celular, sino que enzimas deshidrogenasas muy específicas catalizan la liberación del hidrógeno del sustrato. La parte de coenzima de la deshidrogenasa (normalmente coenzima que contiene niacina, el dinucleótido de nicotinamida y adenina o  $NAD^+$ ) acepta pares de electrones (energía) del hidrógeno. Al oxidarse el sustrato y perder hidrógeno (electrones), el  $NAD^+$  gana un hidrógeno y dos electrones y se reduce al NADH; el otro hidrógeno aparece como  $H^+$  en el líquido celular.

La coenzima que contiene rivo flavina, el dinucleótido de flavina y adenina (FAD), es el otro aceptor importante de electrones que oxida los fragmentos de alimento. El FAD cataliza también deshidrogenaciones y acepta pares de electrones. Sin embargo, de forma diferente al  $\text{NAD}^+$ , el FAD se transforma en  $\text{FADH}_2$  al aceptar ambos hidrógenos. Esta diferencia entre el NAD y el FAD da lugar en la cadena respiratoria a un número total de ATP distinto.

El NADH y el  $\text{FADH}_2$  que se forman en la degradación de los macronutrientes son moléculas con energía elevada debido a que transforman electrones con un potencial elevado de transferencia energética. Los citocromos, un conjunto de transportadores electrónicos ferroproteicos, pasan a continuación en forma “cadena de transmisión”, los pares de electrones que transportan el NADH y el  $\text{FADH}_2$  en las membranas internas de las mitocondrias. La parte de hierro de cada citocromo se encuentra bien en su estado iónico oxidado o reducido. Al aceptar un electrón, la parte férrica de un determinado citocromo se reduce a su forma ferrosa. A su vez, el hierro ferroso cede su electrón al citocromo siguiente, y así por toda la fila. Al intercambiarse entre estas dos formas de hierro, los citocromos transfieren los electrones hasta su último destino, donde reducen al oxígeno para formar agua. El  $\text{NAD}^+$  y el FAD se reciclan posteriormente para poder volver a utilizarse en el metabolismo energético.

El transporte electrónico por moléculas transportadoras específicas forma la cadena respiratoria, la ruta final común en la que los electrones que se extraen del hidrógeno se llevan hasta el oxígeno (McArdle y cols. 2004). La fosforilación oxidativa es el proceso mediante el que se sintetiza el ATP durante la transferencia electrónica desde el NADH y el  $\text{FADH}_2$  al oxígeno molecular. Más del 90% de la síntesis de ATP se produce en la cadena respiratoria mediante las reacciones oxidativas acopladas a la fosforilación (McArdle y cols. 2004).

## **Glicólisis.**

La glicólisis es otro método de producción de ATP, la cual implica una liberación de energía mediante la degradación de la glucosa. La glucosa de la sangre procede de la digestión de los hidratos de carbono y de la degradación del glicógeno hepático. El glicógeno es sintetizado a partir de la glucosa por un proceso llamado glucogénesis. Se almacena en el hígado o en los músculos hasta que se necesita. En este momento, el glicógeno se descompone en glucosa-1-fosfato a través del proceso de la glicogenólisis (Wilmore 2004).

Antes de que la glucosa o el glicógeno puedan usarse para generar energía deben convertirse en un compuesto llamado glucosa-6-fosfato. En esta primera reacción, el ATP actúa como donador de fosfato para fosforilar la glucosa (McArdle y cols. 2004). En la conversión del glicógeno, se forma glucosa-6-fosfato a partir de glucosa-1-fosfato sin este gasto energético. La glicólisis comienza una vez se ha formado la glucosa-6-fosfato (Wilmore 2004), teniendo una capacidad limitada durante las actividades físicas que necesitan esfuerzo máximo de hasta 90 segundos (McArdle y cols. 2004).

En el metabolismo energético, la glucosa-6-fosfato se transforma en fructosa-6-fosfato. En esta fase, no se extrae energía, sino que se incorpora energía en la molécula de glucosa original a costa de una molécula de ATP. La molécula de fructosa-6-fosfato gana otro fosfato y pasa a fructosa 1,6-difosfato bajo el control de la enzima fosfofructoquinasa (PFK). La actividad de la PFK probablemente fija el límite de la velocidad de la glicólisis durante el ejercicio de máximo esfuerzo. La fructosa 1,6-difosfato se fracciona a continuación en dos moléculas fosforiladas con cadenas de tres carbonos; éstas posteriormente se descomponen a piruvato en cinco reacciones sucesivas (McArdle y cols. 2004). Este proceso no requiere oxígeno, pero el uso de oxígeno determina el destino del piruvato (Wilmore 2004).

La ganancia neta de ATP por parte de la glicólisis, es de dos moléculas de ATP (McArdle y cols. 2004), en sí la glicólisis sólo representa el 5% del ATP total que se genera durante la

degradación total de la molécula de glucosa. Sin embargo, debido a la concentración elevada de las enzimas glicolíticas, durante este proceso se produce una energía significativa para la acción muscular.

Durante la glicólisis, se desprenden del sustrato dos pares de átomos de hidrógeno y sus electrones pasan al  $\text{NAD}^+$  para formar NADH. Normalmente si la cadena respiratoria procesara directamente estos electrones, se generarían tres moléculas de ATP por cada molécula de NADH oxidada. Sin embargo, la mitocondria del músculo esquelético es impermeable al NADH que se forma en el citoplasma durante la glicólisis. Por consiguiente, los electrones del NADH extramitocondrial deben trasladarse de forma indirecta a las mitocondrias. En el músculo esquelético, esta ruta finaliza al pasar los electrones al FAD para formar  $\text{FADH}_2$  en un lugar por debajo de la primera formación de ATP. De esta manera, se forman dos en lugar de tres moléculas de ATP cuando la cadena respiratoria oxida el NADH citoplasmático. Dado que se forman dos moléculas de NADH en la glicólisis, el posterior transporte electrónico-fosforilación oxidativo genera de forma aeróbica cuatro moléculas ATP (McArdle y cols. 2004).

### **Formación de lactato.**

Durante los niveles entre ligero y moderado del metabolismo energético las células disponen de una cantidad suficiente de oxígeno. Los hidrógenos (electrones) que se desprenden del sustrato y son transportados por el NADH se oxidan dentro de las mitocondrias para formar agua cuando se unen con el oxígeno. En sentido bioquímico, se produce un “estado estacionario” o, con mayor precisión, un estado estable de tasa metabólica constante, pues el hidrógeno se oxida aproximadamente a la misma velocidad con la que aparece. Los bioquímicos suelen llamar a esta situación glicólisis aeróbica, con el piruvato como producto final.

Es en el ejercicio intenso, cuando las demandas energéticas superan el aporte de oxígeno o su velocidad de utilización, la cadena respiratoria no puede procesar todo el hidrógeno unido al NADH. La liberación continuada de energía anaeróbica en la glicólisis depende de la disponibilidad de  $\text{NAD}^+$ .

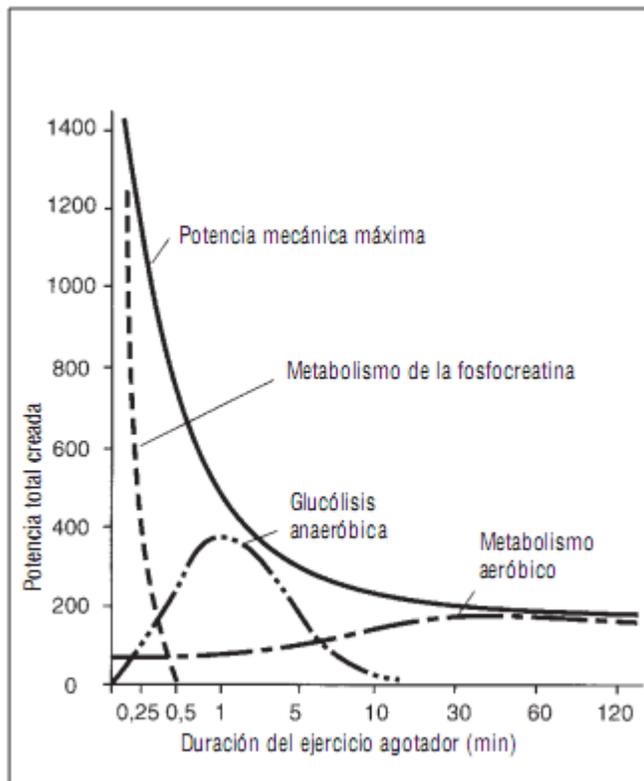
En la glicólisis anaeróbica, el  $\text{NAD}^+$  “se libera” al combinarse temporalmente los pares de hidrógenos no oxidados “sobrantes” con el piruvato para formar lactato. Una vez formado el lactato dentro del músculo, difunde rápidamente a la sangre para su amortiguación y eliminación rápida del lugar del metabolismo energético, lo cual permite que continúe la glicólisis aportando más energía anaeróbica para la síntesis de ATP. Sin embargo, este camino es temporal, ya que las concentraciones sanguíneas y musculares de lactato aumentan y la generación de ATP no puede mantener el ritmo de su utilización.

Incluso en reposo, el metabolismo energético de los glóbulos rojos forma algo de lactato debido a la ausencia de mitocondrias en su estructura, por lo tanto deben obtener su energía mediante la glicólisis (McArdle y cols. 2004).

El lactato sanguíneo circulante es una fuente de energía debido a que se reconvierte fácilmente en piruvato para su posterior catabolismo. Además, se produce la conservación de la energía potencial en las moléculas de lactato y piruvato debido a que el ciclo de Cori del hígado dirige los esqueletos carbonados de estas moléculas hacia la síntesis de la glucosa. El ciclo de Cori se utiliza para eliminar lactato, sintetizar glucosa y luego glicógeno muscular (McArdle y cols. 2004).

## Intervención acoplada de los metabolismos.

El encadenamiento de los metabolismos en función de la intensidad del ejercicio se esquematiza en la siguiente figura.



(Billat 2002)

## **Anexo 2**

### **Producción de lactato en presencia de O<sub>2</sub>.**

Numerosas investigaciones realizadas en el siglo XX por diversos autores (Owles 1930, Farrel y cols. 1979, Jacobs 1986, Haverty y cols. 1988, Graham y Saltin 1989) se dedicaron a entender el rol del lactato en el metabolismo bioenergético y su eventual aporte en la contracción muscular. Durante muchos años se pensó que la producción de lactato, interpretado éste como “producto terminal” de la glicólisis, constituía una vía alternativa de generación de energía, en ausencia de suficiente oxígeno tisular (Mazza 1985). Ya en 1875 Pfluger reportó que la contracción muscular podría ocurrir en un medio anaeróbico, situación en la cual la energía requerida era proveniente de la glicólisis. Sin embargo, los términos “anaeróbico” y “producción de lactato”, han sido mal interpretados y mal utilizados, ya que comúnmente se asocian a reacciones que ocurren en ausencia de oxígeno, relación vista en células *in vivo*. Sin embargo, esto no es suficiente para concluir que la presencia de lactato en el músculo se deba exclusivamente al metabolismo en un medio con limitada cantidad de oxígeno. Es importante considerar esto, ya que se ha demostrado que la concentración del lactato sanguíneo puede elevarse también en reposo, y en presencia de una entrega adecuada de oxígeno, por lo tanto, la ausencia de este no es prerrequisito para la formación de lactato. Por esta razón, la glicólisis anaeróbica debiera interpretarse como un proceso que ocurre sin el uso de oxígeno y no necesariamente en la ausencia de él (Svedahl y MacIntosh 2003).

### **Anexo 3**

#### **Relación del umbral anaeróbico y ejercicio.**

El término "umbral" o intensidad del ejercicio por encima del cual hay acumulación de lactato, tiene una larga historia de investigación científica. Es una variable importante en el campo de la fisiología que se correlaciona bien con la capacidad de resistencia (Sjodin y cols. 1981), siendo un buen predictor del rendimiento real de los eventos de resistencia tales como carreras de largas distancias, desde los 1000 metros hasta la maratón. Además es una medida valiosa en la prueba de esfuerzo clínico, para los pacientes con enfermedades cardiovasculares y/o enfermedades pulmonares (Wasserman y cols. 2005).

Owles (1930) cuantificó el lactato sanguíneo durante un ejercicio de baja intensidad y encontró que cuando el ejercicio era leve, la concentración de lactato en la sangre no se elevaba por encima de los valores de reposo. Sin embargo, a intensidades muy por debajo del consumo máximo de oxígeno, el lactato en la sangre estaba por encima de valores de reposo.

Como complemento a lo expuesto por Owles, Billat en 1996, propuso que bajo un nivel de carga, la concentración de lactato puede llegar a mantenerse estable por un periodo de tiempo determinado. Después de 2 a 5 minutos, se establece un estado estacionario de total energía oxidativa suministrada, la cual se caracteriza por un balance en la producción y eliminación de lactato. Si la carga de trabajo es aumentada, produce una formación neta adicional, generando una acumulación de lactato, conduciendo al agotamiento y la fatiga. La generación de lactato se produce debido a que los factores de la activación de la glicólisis son más rápidos que la activación de la fosforilación oxidativa, resultando en una elevación transitoria del NADH en el citoplasma y la producción neta del lactato.

Muchos factores aparecen como responsables de este cambio en las relaciones de  $\text{NAD}^+$  y NADH, entre ellos están la estimulación de la glicogenólisis y producción del lactato, aceleraciones

de mediadores hormonales en la glicogenólisis y glicólisis, reclutamiento de fibras musculares rápidas-glicolíticas, y una redistribución del flujo sanguíneo para la eliminación del lactato de los tejidos glicolíticos, manifestados en el punto de inflexión del lactato durante el ejercicio, causado por el aumento del lactato sanguíneo mientras se realiza la actividad física (Billat 1996).

## Anexo 4

### Métodos para calcular el umbral anaeróbico.

- ✓ Estado estable de lactato (MLSS): Máximo esfuerzo, provocado por un ejercicio intenso, que mantiene una concentración de lactato arterial constante, es decir, existe un equilibrio entre el transporte de lactato hacia la sangre y la eliminación de éste. También se define como la mayor intensidad de ejercicio, en el que la concentración de lactato en la sangre no aumenta más allá de la concentración inicial transitoria, durante un ejercicio de carga constante (Tegtbur y cols. 1993).
- ✓ Mínima velocidad del lactato: Es la velocidad de locomoción en la cual el lactato sanguíneo alcanza un valor mínimo, durante una prueba de esfuerzo incremental (Svedahl y MacIntosh 2003).
- ✓ Inicio de la acumulación de lactato en la sangre (OBLA): Intensidad de ejercicio donde la concentración de lactato aumenta en 4 mmol, durante una prueba de ejercicio incremental (Sjodin y cols. 1981).
- ✓ Umbral de Lactato: Es la intensidad del ejercicio que está asociado con un incremento sustancial en el lactato sanguíneo durante un ejercicio incremental, representando el inicio de la acidosis metabólica durante una prueba de esfuerzo progresivo (David 1985).
- ✓ Umbral anaeróbico individual (IAT): Es una versión especial del umbral láctico. Es definido como la intensidad del ejercicio, identificado mediante el dibujo de una línea tangente a la curva de recuperación de la concentración de lactato, observado durante un test incremental (Stegmann y cols. 1981).
- ✓ Umbral ventilatorio: La intensidad del ejercicio donde se incrementa la ventilación en forma desproporcionada al aumento de la potencia o de la velocidad de locomoción, durante una prueba de esfuerzo incremental (Svedahl y MacIntosh 2003).

## Anexos 5

### Fotografía de los materiales utilizados en el estudio.

Equipo de medición de lactato Accutrend Plus de Roche y tiras de medición de lactato Roche



Cronómetro



Esfigmomanómetro



Forerunner 310, Garmin



Hojas de anotaciones y lápiz



Pista sintética de 400 metros



Thermo-hygrometer modelo 303



Computador portátil



## Anexo 6

### Escala de Borg modificada.

Percepción subjetiva del nivel de cansancio o fatiga. El individuo debe colocar una nota de su nivel de cansancio o fatiga según la siguiente escala:

0	Nada en absoluto
0,5	Muy, muy leve (apenas se nota)
1	Fatiga muy leve
2	Fatiga leve
3	Fatiga moderada
4	Fatiga algo severa
5	Fatiga severa
6	
7	Fatiga muy severa
8	
9	Fatiga muy, muy severa
10	Fatiga máxima

## **Anexo 7**

### **Instrumentos de medición del lactato.**

La medición de lactato se puede realizar a través de métodos de laboratorio, por medio de biosensores enzimáticos, los cuales se acoplan a una reacción enzimática con un electrodo amperométrico (González 2004). Los métodos de laboratorio tienen una gran validez, pero requieren más tiempo para su realización, son más costosos y no pueden aplicarse en terreno, a modo de investigación se han utilizados para comparar la validez y fiabilidad de instrumentos portátiles de medición del lactato.

La concentración de lactato en sangre se mide a menudo en relación con entrenamiento y pruebas en los atletas (Smith y cols. 1997, Medbo y cols. 2000) con la finalidad de evaluar el rendimiento de un atleta, prescribir la intensidad del ejercicio y vigilar la adaptación al entrenamiento de resistencia (Buckley y cols. 2003).

Como se mencionó anteriormente, los métodos tradicionales en laboratorio destinan mucho tiempo en su realización, pero ahora se han desarrollado métodos más rápidos y sencillos. Hoy en día hay varios instrumentos que pueden utilizarse para medir la concentración de lactato en pequeñas muestras de sangre (Medbo y cols. 2000), están más disponibles y a menores costos. Un ejemplo de esto es el lactato Pro (LP) (Arkay, Kioto, Japón), el Accusport (ACC) y Accutrend Plus (Roche Diagnostics, Basel, Suiza), siendo ampliamente utilizados para la medición de lactato en la sangre durante el ejercicio (Bucley y cols. 2003). El LP y el ACC, son instrumentos de bolsillo impulsado por baterías, adecuados para las pruebas al aire libre (Medbo y cols. 2000).

Existe una serie de estudios (Medbo y cols. 2000 y Buckley y cols. 2003) donde comparan la validez y fiabilidad de ACC y LP con analizadores de laboratorio que se basan en las concentraciones de lactato en la sangre mediante un ensayo enzimático. Los estudios han reportado

que los analizadores portátiles proporcionan valores que se correlacionan con los valores entregados por los analizadores de laboratorio (Bucley y cols. 2003).

Es importante considerar que todas las medidas están sujetas a algún error aleatorio, aunque se intentan reducir lo más posible y los errores sistemáticos, también pueden ocurrir. Medbo y cols. (2000) examinaron cuatro instrumentos (LP, YSI 1500, ISY23L y ACC) de medición del lactato para comparar la imprecisión de éstos y para buscar posibles errores sistemáticos. De los cuatro instrumentos considerados el LP era el mejor. Sin embargo el ACC fue bien valorado en el estudio para la medición del lactato al aire libre (Medbo y cols. 2000).

Los analizadores de bolsillo para el análisis del lactato tienen como modo de funcionamiento la detección enzimática-amperométrica, utilizando tiras reactivas. Por motivos del estudio se abordará sobre el Accutrend Plus de Roche, el cual posee la misma tecnología que el Accusport, debido a que pertenecen al mismo laboratorio. El test comienza con la utilización de una tira de codificación, que proporciona al instrumento información importante sobre las tiras reactivas, correspondientes al parámetro que se desee medir (Lactato, glucosa, triglicérido o colesterol), el instrumento lee las características específicas del lote de las tiras reactivas que se están usando, información que es guardada por el Accutrend Plus de Roche. A continuación se extrae una tira reactiva sin usar del tubo y se inserta en el instrumento, mientras está introducida, el área de aplicación de la tira reactiva está retroiluminada por un LED (diodo emisor de luz). Antes de que se realice la medición en sí, se determina el comportamiento de reflexión de la tira reactiva por medio de la luz reflejada (desde el área de aplicación).

A continuación, se posiciona la muestra de sangre en el área de aplicación. El componente que se desea determinar en la muestra aplicada experimenta una reacción enzimática y se forma un colorante. La cantidad de colorante formado aumenta con la concentración de la sustancia que se desea determinar, en este caso, lactato.

Después de cierto tiempo, que para este equipo es de 60 segundos; se mide la intensidad del color retroiluminado de nuevo en el área de aplicación con el LED. La intensidad de luz reflejada se mide con un detector de fotometría de reflectancia. El valor calculado se determina a partir de la intensidad de señal de la luz reflejada, teniendo en cuenta también el valor del blanco previamente medido y la lectura de la información específica del lote (tira de codificación). Por último, el resultado se muestra en la pantalla y se guarda simultáneamente en la memoria.