



# **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**POSGRADO EN CIENCIAS MÉDICAS ODONTOLÓGICAS Y DE LA SALUD  
INVESTIGACIÓN CLÍNICA EXPERIMENTAL EN SALUD  
FARMACOLOGÍA CLÍNICA**

**ESTUDIO PILOTO SOBRE EL EFECTO DE LA *Spirulina maxima*  
COMO SUPLEMENTO ALIMENTICIO EN DEPORTISTAS  
ENTRENADOS**

## **TESIS**

TESIS QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE  
**MAESTRA EN CIENCIAS**

PRESENTA:

**MA. GUADALUPE CALDERÓN GALLARDO**

**TUTORA: DRA. PATRICIA VICTORIA TORRES DURÁN (FACULTAD DE MEDICINA)  
COMITÉ TUTOR: DRA. CRISTINA RODRÍGUEZ GUTIÉRREZ (MEDICINA DEL  
DEPORTE/FACULTAD DE MEDICINA)  
DRA. VICTORIA MENDOZA ZUBIETA (CMN SIGLO XXI IMSS)**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., FEBRERO 2017**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco al posgrado en Ciencias Médicas, Odontológicas y de la Salud, por la oportunidad que me brindó de pertenecer a la máxima casa de estudios de mi país y prepararme para obtener el grado de maestría.

Agradezco también el apoyo recibido mediante beca CONACYT (328705), a la DGAPA con en el apoyo del PAPIIT con clave de proyecto IN-219615, a la Facultad de Medicina, a la Unidad de Medicina del Deporte (Estudio Morfofuncional) bajo la dirección de la Dra. Cristina Rodríguez, asimismo a la Dirección General de Actividades Deportivas y Recreativas de la UNAM (Alberca Olímpica 1968) bajo la coordinación del Ing. Manuel Humberto Rentería Flores, el gran apoyo del Ing. Raúl Eligio Porta Contreras (Q.E.P.D.) y del Q. A. Isaac Hernández Viveros (Entrenadores), quienes colaboraron arduamentedemostrando profesionalismo ya todo el personal de dichas instalaciones, al equipo representativo de natación, gracias, sin su apoyo no hubiera sido posible realizar este proyecto de investigación, y finalmente a M en C María Teresa Espinosa García (Técnico Titular A, T.C.) miembro del laboratorio 10 de bioquímica de la Facultad de Medicina.

Agradezco a los miembros del comité tutor de este trabajo: Dra. Cristina Rodríguez Gutiérrez, Dra. Victoria Mendoza Zubieta, y Dra. Patricia Victoria Torres Durán (tutora del mismo).

## **AGRADECIMIENTOS A TÍTULO PERSONAL**

Primeramente agradezco infinitamente a Dios, por su eterna presencia en mi vida, y por la oportunidad que me brindó al dejarme vivir ésta experiencia.

En segunda instancia agradezco de manera especial a mi ángel guardián, quien me recordó mis sueños y se convirtió en mi inspiración y apoyo para lograrlo, gracias Fernando Gómez Santiago, éste logro es compartido.

Agradezco también a mis padres Lupe y Toño, a mis hermanos Conchita, Juan Pablo, a mi prima cuasi-hermana Gina, a mi tutora y amiga Paty Torres, a mis compañeros Jesús y Emmanuel, gracias a todos por su apoyo incondicional.

Gracias también a mis amigos que estuvieron para apoyarme y sacarme del atolladero cuando lo necesité: Toño Bárcena, Sergio Quezadas, Jonathan Ramírez, Enrique Villarreal, mis amigos de la Nueva Tlapa, mis amigas de toda la vida Marcela Gutiérrez, Magdalena Beltrán y Alejandra Lamas; a mis eternas mensajeras Melissa Hernández y Anita Torres, sus mensajes siempre fueron un aliento para seguir adelante.

Gracias Carlos Ruiz y Margarita Rivera por haber cuidado de mi pequeña durante este tiempo.

## **DEDICATORIAS**

Al Señor de la Misericordia en quien desde un inicio puse este proyecto en sus manos, a Fernando Gómez Santiago por tu apoyo incondicional, a mi niña, Ana Cecilia, por tu comprensión y apoyo, a mi hermano Luis Antonio (Q.E.P.D.) porque fuiste mi fuerza en los momentos de soledad, a mis padres Lupe y Toño, por su amor, apoyo y enseñanzas.

A Paty Torres por el apoyo personal y profesional que siempre me brindaste.

A César Morales Razo por tu amor, comprensión y apoyo.

# INDICE

---

INDICE .....	5
INDICE DE FIGURAS .....	14
INDICE DE TABLAS .....	18
RESUMEN .....	19
ABSTRACT .....	21
GLOSARIO DE ABREVIATURAS .....	24
GLOSARIO DE CONCEPTOS .....	27
1.- INTRODUCCIÓN .....	31
1.1 ACTIVIDAD FÍSICA Y DEPORTE .....	31
1.1.1 ENTRENAMIENTO DEPORTIVO .....	32
1.1.1.1 Principales características del entrenamiento .....	33
1.1.2 RENDIMIENTO FÍSICO .....	33
1.1.2.1 Indicadores del rendimiento deportivo .....	34
1.1.2.1.1 Psicológicos .....	34
1.1.2.1.2 Tácticos y biomecánicos .....	34
1.1.2.1.3 Biológicos, funcionales y de aptitud física .....	35
1.1.2.1.4 Bioquímicos, hematológicos y hormonales .....	35

1.1.2.1.1 Antropométrico y morfológico.....	36
1.1.3 FISIOLÓGÍA DEL EJERCICIO .....	36
1.1.3.1 SAE y modificaciones metabólicas .....	37
1.1.3.1.1 Regulación de la glucemia en el ejercicio .....	48
1.1.3.1.2 Respuesta hormonal al ejercicio .....	49
1.1.3.2 Función y adaptación muscular .....	49
1.1.3.2.1 Fibras tipo I .....	49
1.1.3.2.2 Fibras tipo II .....	50
1.1.3.3 Adaptaciones neurales .....	51
1.1.3.4 SAO y modificaciones circulatorias.....	51
1.1.3.5 SAO y modificaciones cardíacas .....	53
1.1.3.6 SAO y modificaciones respiratorias .....	55
1.1.3.6.1 Intercambio gaseoso .....	56
1.1.3.6.2 Transporte de gases por la sangre .....	57
1.1.3.6.3 Consumo de oxígeno .....	58
1.1.3.7 Modificaciones hematológicas .....	58
1.1.3.7.1 Efectos en el volumen sanguíneo .....	59

1.1.3.7.2 Efectos sobre la serie roja .....	59
1.1.3.7.3 Efectos sobre la serie blanca .....	59
1.1.3.7.4 Efectos sobre la coagulación y fibrinólisis .....	60
1.1.3.8 Modificaciones en el medio interno .....	60
1.1.3.8.1 Regulación del líquido corporal .....	60
1.1.3.8.2 Función renal durante el ejercicio .....	61
1.1.4 METABOLISMO AERÓBICO Y ESTADO ANTIOXIDANTE .....	61
1.1.4.1 Radicales libres .....	61
1.1.4.1.1 Formación de radicales libres .....	63
1.1.4.1.2 Fuentes fisiológicas de radicales libres .....	64
1.1.4.1.3 Efectos nocivos de las ERO's .....	66
1.1.4.1.4 ERO's y ejercicio .....	68
1.1.4.2 Estrés oxidativo y sistema de defensa antioxidante .....	68
1.1.4.2.1 Primera línea de defensa antioxidante .....	70
1.1.4.2.2 Segunda línea de defensa antioxidante .....	71
1.1.4.2.3 Oligoelementos .....	72
1.2 RENDIMIENTO FÍSICO Y SU EVALUACIÓN .....	72



1.2.1 EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA.....	73
1.2.1.1 Evaluación de la resistencia aeróbica.....	73
1.2.1.1.1 Pruebas de esfuerzo máximas en banda sin fin.....	78
1.2.1.2 Evaluación de la resistencia anaeróbica.....	80
1.2.2 EVALUACIÓN DE LA RECUPERACIÓN.....	82
1.3 NATACIÓN.....	84
1.3.1 CARACTERÍSTICAS ANTROPOMÉTRICAS DE LOS NADADORES ..	85
1.3.2 PRUEBAS DE CAMPO PARA MEDIR LA CONDICIÓN FÍSICA EN LA NATACIÓN .....	86
1.3.2.1 Velocidad crítica de natación (VCN).....	86
1.3.2.2 Pruebas de velocidad (T200, T300, T400, etc.).....	88
1.4 NUTRICIÓN E HIDRATACIÓN EN EL DEPORTE.....	88
1.4.1 SUPLEMENTACIÓN EN EL DEPORTE .....	89
2. ANTECEDENTES .....	91
2.1 <i>SPIRULINAMAXIMA</i> .....	91
2.2 CARACTERÍSTICAS NUTRIMENTALES.....	93
2.3 EFECTOS BIOLÓGICOS Y TOXICIDAD .....	94
2.4 EFECTOS SOBRE EL EJERCICIO .....	96

2.5 PRODUCCIÓN DE <i>SPIRULINA</i> PARA SUPLEMENTACIÓN ALIMENTICIA Y OTROS USOS .....	96
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	100
4. JUSTIFICACIÓN .....	101
5. HIPÓTESIS .....	102
6. OBJETIVOS .....	103
6.1 GENERAL .....	103
6.2 ESPECÍFICOS .....	103
7. DISEÑO EXPERIMENTAL .....	104
7.1 TIPO DE ESTUDIO .....	104
7.2 TAMAÑO DE MUESTRA.....	104
7.3 DIAGRAMA DE DISEÑO EXPERIMENTAL .....	104
7.4 CRITERIOS DE INCLUSIÓN .....	107
7.5 CRITERIOS DE EXCLUSIÓN .....	107
7.6 CRITERIOS DE ELIMINACIÓN.....	108
8. METODOLOGÍA.....	109
8.1 VARIABLES DE ESTUDIO.....	109
8.2 PRUEBAS MORFOFUNCIONALES .....	110
8.2.1 HISTORIA CLÍNICA.....	111

8.2.2 ANTROPOMETRÍA.....	111
8.2.3 ELECTROCARDIOGRAFÍA.....	112
8.2.4 ESPIROMETRÍA.....	113
8.2.4 ERGOMETRÍA.....	113
8.2.5 NUTRICIÓN.....	114
8.2.6 BIOMECÁNICA.....	114
8.2.7 PSICOLOGÍA.....	114
8.3 PRUEBAS DEPORTIVAS .....	114
8.3.1 VELOCIDAD CRÍTICA DE LA NATACIÓN (VCN) .....	115
8.3.1.1 T200, T300Y T400.....	115
8.3.1.2 Cálculo de VCN .....	115
8.3.2 T300.....	116
8.4 PRUEBAS FISIOLÓGICAS .....	116
8.4.1 CONSUMO MÁXIMO DE OXÍGENO (VO <sub>2</sub> max) .....	116
8.4.2 AREA BAJO LA CURVA DE LACTATO Y UMBRAL DE LACTATO ....	116
8.4.2.1 Pruebas progresivas T300.....	116
8.4.2.2 Determinación de Lactato .....	116
8.4.2.3 Cálculo del área bajo la curva de lactato .....	117

8.4.2.4 Cálculo del umbral de lactato.....	117
8.4.3 INDICE DE RECUPERACIÓN DE LA FRECUENCIA CARDIACA .....	118
8.5 PRUEBAS HEMATOLÓGICAS Y BIOQUÍMICAS.....	118
8.5.1 HEMOGLOBINA .....	119
8.5.2 HEMATOCRITO .....	119
8.5.3 GLUCOSA .....	119
8.5.4 ÁCIDO ÚRICO.....	120
8.5.5 COLESTEROL TOTAL .....	120
8.5.6 COLESTEROL HDL.....	121
8.5.7 TRIACILGLICEROLES .....	121
8.6 SISTEMA ANTIOXIDANTE .....	122
8.6.1 CATALASA (CAT).....	122
8.6.2 SUPEROXIDO DISMUTASA (SOD).....	122
8.6.3 GLUTATIÓN PEROXIDASA (GPX).....	123
8.6.4 GLUTATION REDUCIDO (GSH).....	123
8.7 CONTROL Y SEGUIMIENTO DURANTE EL TRATAMIENTO .....	123
8.8 ANALISIS ESTADÍSTICO .....	123
9. RESULTADOS.....	125
9.1 DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA.....	125

9.2 PRUEBAS DEPORTIVAS .....	126
9.2.1 VELOCIDAD CRÍTICA DE LA NATACIÓN (VCN) .....	126
9.2.2 T300.....	127
9.3 PRUEBAS FISIOLÓGICAS .....	128
9.3.1 CONSUMO MÁXIMO DE OXÍGENO .....	128
9.3.2 LACTATO .....	129
9.3.2.1 Área bajo la curva de Lactato .....	129
9.3.2.2 Umbral de Lactato (LT).....	131
9.3.3 INDICE DE RECUPERACIÓN DE LA FRECUENCIA CARDIACA .....	133
9.4 SISTEMA ANTIOXIDANTE .....	134
9.4.1 CATALASA .....	134
9.4.2 SUPEROXIDO DISMUTASA .....	134
9.4.3 GLUTATIÓN PEROXIDASA .....	135
9.4.4 GLUTATION REDUCIDO .....	135
9.5 LÍPIDOS .....	136
9.5.1 COLESTEROL TOTAL .....	136
9.5.2 COLESTEROL HDL.....	136
9.5.3 COLESTEROL LDL .....	136
10. DISCUSIÓN .....	138

11. CONCLUSIONES.....	143
12. REFERENCIAS.....	144
13. ANEXOS .....	148
ANEXO 1 Composición típica de la <i>Spirulina</i> ( <i>Moorhead, 2011</i> ) .....	148
ANEXO 2: Consentimiento informado.....	150
ANEXO 3: Formato de reporte de estudios morfofuncionales .....	151
ANEXO 4: Indicaciones para estudios morfofuncionales.....	155
ANEXO 5: NOTA DE INGRESO .....	156
ANEXO 6: Formatos de criterios de inclusión y exclusión .....	157
ANEXO 7: Formato de reporte de caso (CRF) .....	159
ANEXO 8: Formatos de encuesta y seguimiento.....	160
ANEXO 9: Formato de criterios de eliminación.....	162
ANEXO 10: Formato de evaluación de antropometría.....	163
ANEXO 11: Formato de evaluación de ergometría.....	165
ANEXO 12: Velocidad Crítica de la Natación (VCN). Cálculo.....	166
ANEXO 13: Gráficas Lactato pruebas progresivas .....	170
ANEXO 14: Frecuencia Cardiaca de Recuperación e IRFC.....	172

# INDICE DE FIGURAS

---

Fig. 1 Metabolismo .....	38
Fig. 2 Vías del sistema de aporte de energía(SAE) en el miocito .....	39
Fig. 3 Síntesis de ATP por la vía anaeróbica aláctica (VAA).....	40
Fig. 4 Ecuación general de la glucólisis anaerobia.....	41
Fig. 5 Síntesis de ATP por la vía anaeróbica láctica (VAL) .....	41
Fig. 6 Ciclo de Cori.....	42
Fig. 7 Vía aerobia (VA).....	43
Fig.8. Ciclo de Krebs .....	44
Fig. 9 Cadena de transporte de electrones .....	45
Fig. 10 Beta oxidación.....	46
Fig. 11 Fuente de energía e intensidad del ejercicio .....	47
Fig. 12 Vías del sistema de aporte de energía (SAE) y duración del ejercicio .....	48
Fig. 13 Volumen sistólico durante el ejercicio.....	54
Fig. 14 Frecuencia cardiaca durante el ejercicio .....	55
Fig. 15 Molécula de agua y radical hidroxilo (OH●).....	62

Fig. 16 Formación de especies reactivas de oxígeno (ERO's) .....	65
Fig. 17 Representación del estrés oxidativo.....	69
Fig. 18 Sistema de defensa antioxidante. Primera línea .....	71
Fig. 19 Representación gráfica del consumo de oxígeno hasta alcanzar el estado estable ( <i>McArdle, 2004</i> ). .....	74
Fig. 20 Escala de percepción de fatiga de Borg.....	78
Fig. 21 Ecuación para calcular $VO_{2\text{corriendo}}$ en una prueba de tapiz rodante según la ACSM .....	79
Fig. 22 Ecuación para calcular $VO_{2\text{max}}$ con el protocolo de Bruce en tapiz rodante .....	79
Fig. 23 Ecuación para calcular $VO_{2\text{caminando}}$ en una prueba de tapiz rodante según la ACSM .....	80
Rojo: % de uso de metabolismo anaeróbico (VAL). Azul: % de uso de metabolismo aeróbico (VA) . Verde: Concentración de lactato .....	82
Fig. 24 Esquema de conceptos de cruce metabólico, máximo estado estable de lactato (MLSS) y umbral de lactato (LT).....	82
Rojo:sujetos entrenados, azul: sujetos no entrenados .....	83
Fig. 25 Gráfico de frecuencia cardiaca de recuperación (FCR).....	83



FC <sub>ma</sub> Frecuencia cardiaca máxima alcanzada, FC <sub>t</sub> Frecuencia cardiaca en el minuto respectivo, FC <sub>m<sub>t</sub></sub> Frecuencia cardiaca máxima teórica .....	83
Fig. 26 Fórmula para calcular el índice de recuperación de la frecuencia cardiaca (IRFC) .....	83
Rojo: sujeto más entrenado azul: sujeto menos entrenado.....	84
Fig. 27 Gráfico de índice de recuperación de la frecuencia cardiaca de dos sujetos con distinto nivel de entrenamiento. ....	84
Fig. 28 Cálculo de la velocidad crítica de natación (VCN) mediante recta de regresión .....	87
Fig. 29 Fórmula para calcular la velocidad crítica de natación (VCN) según Ginn	88
Fig. 30 <i>Spirulina maxima</i> .....	91
Fig. 31 Los Aztecas y la <i>Spirulina maxima</i> .....	92
Fig. 32 Cultivo de <i>Spirulina</i> en laboratorio.....	99
Fig. 33 Cultivo de <i>Spirulina</i> en reactores de producción .....	99
Fig. 34 Esquema de diseño del estudio. ....	106
Fig. 35 Electrocardiógrafo Cardiofax V ECAPS12.....	112
Fig. 36 Banda sin fin.....	113

Fig. 37 Pruebas de campo Alberca Olímpica Universitaria (UNAM) .....	115
Fig. 38 Estación de trabajo para proceso de lactato en las instalaciones de la Alberca Olímpica Universitaria (UNAM) .....	117
Fig. 39 Gráfica comparativa de resultados de $\Delta$ VCN .....	127
Fig. 40 Gráfica comparativa de resultados de % $\Delta$ VELT300 .....	128
Fig. 41 Gráfica comparativa de resultados de $\Delta$ VO <sub>2</sub> max.....	129
A4 Sujeto tratado con Spirulina B5 Sujeto tratado con placebo .....	130
Fig. 42 Concentración de lactato vs velocidad de nado en las pruebas progresivas de lactato.....	130
Fig. 43 Gráfica comparativa % $\Delta$ AUC de lactato .....	131
Fig. 44 Gráfica cálculo del LT y MLSS .....	132
Fig. 45 Gráfica comparativa $\Delta$ LT .....	132
Fig. 46 Gráfica comparativa de los IRFC .....	133
Fig. 47 Gráficas comparativas de sistema antioxidante .....	135
Fig. 48 Gráficas comparativas de lípidos .....	137
Fig. 49 Síntesis de novo de creatina .....	141
Fig. 50 Síntesis de novo de glutatión reducido.....	142

# INDICE DE TABLAS

---

Tabla 1: Características diferenciadoras de los distintos tipos metabólicos de fibras musculares .....	51
Tabla 2. Principales factores externos que incrementan la producción de especies reactivas de oxígeno (ERO's).Citada en <b>(Corrales &amp; Muñoz Ariza, 2012)</b> .....	67
Tabla 3 Relación del intercambio respiratorio con el % kcal provisto por cada combustible utilizado. Citada en <b>(Wilmore &amp; Costill, 2004)</b> .....	76
Tabla 4 Composición general típica de <i>Spirulina</i> (Cyanotech Corporation) .....	93
Tabla 5: Variables fisiológicas y deportivas analizadas que se relacionan con el rendimiento deportivo .....	109
Tabla 6: Variables bioquímicas analizadas que se relacionan con el estado antioxidante .....	110
Tabla 7: Características descriptivas de los grupos de estudio .....	125
Tabla 8: Resultados de pruebas deportivas .....	126
Tabla 9: Resultados de pruebas de sistema antioxidante .....	134

# RESUMEN

---

**Introducción y objetivo del estudio:** Dentro de los objetivos de un deportista, se encuentra el mejorar su rendimiento deportivo, que se favorece por la utilización óptima del oxígeno durante el metabolismo aeróbico; bajo esta condición se generan especies reactivas de oxígeno (ERO's), las cuales modifican la relación antioxidantes/ERO's en el deportista. Si la alimentación no contiene suficientes antioxidantes o precursores de éstos, las ERO's podrían incrementarse de manera significativa llevando al deportista a un estado de estrés oxidativo.

Por otro lado la *Spirulina maxima* es una cianobacteria que posee diversas actividades biológicas y entre ellas se encuentra la actividad antioxidante (atribuida principalmente a la ficocianina).

El objetivo de éste trabajo es conocer si la *Spirulina maxima* mejora el rendimiento físico y el sistema antioxidante en varones nadadores de alto rendimiento, cuando se administra como suplemento alimenticio a una dosis de 6 g por día.

**Diseño y metodología:** Se trata de un estudio piloto, ciego simple, controlado con placebo en el que participaron 14 nadadores varones del equipo representativo de la Universidad Nacional Autónoma de México, cuyas edades se encontraban entre los 9 y los 28 años. La aleatorización de los grupos (*Spirulina* y placebo) se realizó de manera estratificada por edad cumplida a la fecha de inicio del estudio. A cada sujeto se le realizaron pruebas Bioquímicas, Morfo-funcionales y deportivas antes (basales) y después del tratamiento (post). El tratamiento se llevó a cabo durante 12 semanas y consistió en 12 tabletas diarias (*Spirulina* o placebo) repartidas en

tres tomas por día. Durante el tratamiento, los sujetos asistieron a su entrenamiento y llevaron una dieta acorde a su peso y composición corporal. El apego al tratamiento y la dieta, así como los eventos ocurridos fueron monitoreados a través de encuestas semanales y de la entrega-recepción de los envases de tabletas.

De las pruebas realizadas se obtuvieron valores basales y post-tratamiento de consumo máximo de oxígeno ( $VO_{2max}$ ), Velocidad crítica de natación, Velocidad de nado 300m (T300), umbral de lactato en pruebas progresivas de 300m , enzimas antioxidantes, lípidos sanguíneos, entre otros.

Con los datos obtenidos en las pruebas basal y post tratamiento se calcularon deltas y porcentajes de delta para cada variable de estudio, y se analizaron estadísticamente utilizando el programa GraphPadPrism versión 5.0, considerando un  $\alpha=0.05$  para todas las pruebas. Las diferencias entre tratamientos para cada una de las variables estudiadas se analizaron utilizando las pruebas U de Mann Whitney y Fisher.

### **Resultados:**

Para comprobar que no existen diferencias en cuanto a las edades y la dieta de los participantes se analizaron los datos utilizando una prueba de U de Mann Whitney, no encontrándose diferencia significativa entre los grupos.

Se encontraron diferencias significativas entre los grupos en: % de delta de T300 (p=0.0004), delta de  $VO_{2max}$  (p=0.0335) y % de delta del AUC de lactato (p=0.0132).

Se observa una aparente mejora del sistema antioxidante (principalmente incremento de GSH).

**Conclusiones:** Se observa una tendencia a la mejoría en el desempeño aeróbico de los deportistas que consumieron *Spirulina*, así como una tendencia a mejorar su estado antioxidante.

## ABSTRACT

---

**Introduction:** Among the objectives of an athlete is improving his physical performance that is favored by the optimum utilization of oxygen during aerobic metabolism, under this condition reactive oxygen species (ROS) are generated, which, modify the antioxidants/ROS athlete ratio. But if his diet does not contain enough antioxidants or precursors thereof, ROS could increase significantly leading the athlete to an state of oxidative stress.

Furthermore, the cyanobacteria *Spirulina maxima* has different biological activities and antioxidant activity is included (mainly attributed to phycocyanin pigment).

The aim of this study was to determine if *Spirulina maxima* improves physical performance and the antioxidant system in high performance male swimmers, when it's administered as a dietary supplement at a dose of 6 g per day.

**Design and Methodology:** This is a pilot study, single blind, placebo-controlled, study which involved 14 male swimmers of the representative team of the National Autonomous University of Mexico, whose ages were between 9 and 28 years old. Randomization of groups (*Spirulina* and placebo) was performed by stratifying by age, so accomplished to date baseline. Each Athlete was carried out biochemical, morpho-functional and sports tests before (baseline) and after treatment (post). The treatment was carried out for 12 weeks and involves taking 12 pills daily (*Spirulina* or placebo) divided into three doses per day. During treatment, athletes attended his training and took a diet according to his weight and body composition. Compliance with treatment and diet, as well as events that occurred were monitored through weekly surveys and handover of packaging of pills.

Tests for maximal oxygen uptake ( $VO_{2max}$ ), critical swimming speed, and speed swimming 300m (T300), lactate threshold in progressive tests 300m, antioxidant enzymes, and blood lipids, among others, were obtained before and post-treatment.

With the data obtained at before and post-treatment tests, delta values and delta percentages for each variable studied were calculated and analyzed statistically using the Graph Pad Prism version 5.0, considering an  $\alpha = 0.05$  for all tests.

**Results:** As expected, some variables (age, proportion of nutrients in the diet) were not different between groups,. However, significant differences were observed between before and post-treatment in Spirulina group: % delta T300 (p = 0.0004), delta  $VO_{2max}$  (p=0.0335). An F-test comparison of variance was performed finding significant difference in % delta lactate AUC (p = 0.0132).

An apparent improvement of the antioxidant system (mainly increase of GSH) is observed, however the differences are not statistically significant.

**Conclusions:** A trend toward improvement in aerobic performance of athletes who consumed *Spirulina* as well as a tendency to improve antioxidant status is observed.



# GLOSARIO DE ABREVIATURAS

---

Abreviatura	Concepto
AC	Anhidrasa carbónica
ACoA	Acetil Coenzima A
ACT	Agua Corporal Total
ADH	Hormona Anti Diurética
ADP	Adenosindifosfato
AG	Ácidos Grasos
AGL	Ácidos Grasos Libres
ATP	Trifosfato de Adenosina
CAT	Catalasa
CHE	Esterasa de Colesterol
CHOD	Colesterol Oxidasa
Cit B	Citocromo B
Cit C	Citocromo C
Cit A	Citocromo Oxidoreductasa
Cit A <sub>3</sub>	Citocromo Oxidasa
CL	Fibras Musculares de Contracción
CoA	Coenzima A
CoQ	Coenzima Q
CoQH <sub>2</sub>	Coenzima Q reducida
CO	Mónóxido de Carbono
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
CR	Fibras Musculares de Contracción Rápida
Cu	Cobre
e-	Electrón
ERO's	Especies Reactivas de Oxígeno
FAD	FlavinAdeninDinucleótido
FADH <sub>2</sub>	FlavinAdeninDinucleótido Reducido
FC	Frecuencia Cardíaca

FCR	Frecuencia cardiaca de Recuperación
Fe	Hierro
Fe <sup>2+</sup>	Ion Ferroso
Fe <sup>3+</sup>	Ion Férrico
FMN	FlavinaMononucleótido
FMNH	FlavinaMononucleótido reducido
FR	Frecuencia Respiratoria
FSR	Flujo Sanguíneo Renal
GAMT	Guanidinoacetato N MetilTransferasa
GATM	Glicina Amidinotransferasa
GDP	GuanosínDifosfato
GGC	Gamma Glutamil Cisteína
GGCS	Gamma GlutamilCisteínSintetasa
GK	Glicerol Kinasa
GOD	Glucosa Oxidasa
GPO	Glicerol Fosfato Deshidrogenasa
GPX	Glutación Peroxidasa
GR	Fibras Glucolíticas Rápidas
GRed	Glutación Reductasa
GS	Glutación Sintetasa
GSH	Glutación Reducido
GSSG	Glutación oxidado
GTP	GuanosínTrifosfato
Hb	Hemoglobina
HBO <sub>2</sub>	Oxihemoglobina
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ion bicarbonato
Hi	Hemiglobina (Metahemoglobina)
HiCN	Cianuro de Hemiglobina
H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Ácido Carbónico
H <sub>2</sub> O	Agua
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .	Peróxido de Hidrógeno
IMB	Índice Metabólico Basal
IMC	Indice de Masa Corporal

IRFC	Índice de Recuperación de la Frecuencia Cardíaca
km	Kilómetros
LGS	Ley General de Salud
LPL	Lipoproteinlipasa
LT	Umbral de Lactato
Mg	Magnesio
MLSS	Máximo Estado Estable de Lactato
Mn	Manganeso
NAD+	Nicotinamida Adenina Dinucleótido
NADH	Nicotinamida Adenina Dinucleótido
NADPH	Nicotinamida Adenina Dinucleótido
NBT	Cloruro de Nitrotetrazolio
O <sub>2</sub>	Oxígeno Molecular
O <sub>2</sub> <sup>•</sup>	Anión Superóxido
OH <sup>•</sup>	Radical Hidroxilo
OL	Fibras Musculares Oxidativas Lentas
P	Fósforo Inorgánico
PC	Fosfocreatina
PS	Presión sanguínea
PDH	Complejo Piruvato Deshidrogenasa
pH	Potencial de Hidrógeno
Q	Volumen minuto (VM) o Gasto
RIR	Relación de Intercambio Respiratorio
RL	Radical Libre
RP	Resistencia Periférica
RV	Retorno Venoso
Se	Selenio
SAE	Sistema de Aporte de Energía
SAO	Sistema de Aporte de Oxígeno
SAH	S-AdenosilHomocisteína
SAM	S-Adenosil Metionina
SNC	Sistema Nervioso Central
SOD	Superóxido Dismutasa
TTP	Tiempo Parcial de Tromboplastina

TV	Volumen Corriente
VAA	Vía Anaeróbica Aláctica
VAL	Vía Anaeróbica Láctica
VA	Vía Aeróbica
$V_E$	Ventilación Minuto
VM	Volumen Minuto o Gasto Cardíaco
$VO_{2max}$	Consumo Máximo de Oxígeno
VS	Volumen Sistólico

## GLOSARIO DE CONCEPTOS

---

**Adaptación:** Cambios estructurales y funcionales, consecuencia de la repetición sistemática del ejercicio (entrenamiento).

**Aeróbico:** Qué se produce con la utilización de oxígeno libre.

**Anaeróbico:** Que se produce sin la utilización de oxígeno libre.

**Carga:** Fuerza que ejerce el peso de un objeto sobre los músculos.

**Cianobacterias:** Procariontes autótrofos, conocidos comúnmente como algas verde-azuladas.

**Ciclo de Cori:** Circulación cíclica de la glucosa y el lactato entre el músculo y el hígado.

**Envergadura:** Distancia entre las puntas de los dedos mayores derecho e izquierdo de las manos, cuando las extremidades superiores están en máxima extensión.

**Equilibrio hidroelectrolítico:** Balance del contenido de agua y electrolitos en el cuerpo humano.

**Equilibrio osmótico:** Balance de las concentraciones de solutos intra y extracelulares.

**Estado estable o tasa constante de metabolismo aeróbico:** Equilibrio entre la energía requerida por el músculo y la producción aeróbica de ATP.

**Frecuencia Cardíaca (FC):** Número de contracciones del corazón por minuto.

**Fosfágenos:** Formas de almacenamiento de alta energía que incluyen a la creatina fosfato presente en el músculo estriado (*McArdle William D.; Murray RK, 2010*).

**Frecuencia Respiratoria (FR):** Número de respiraciones por minuto.

**Glucogenólisis:** Proceso de obtención de glucosa a partir de glucógeno

**Gluconeogénesis:** Formación de glucosa y glucógeno a, partir de sustancias orgánicas tales como aminoácidos, ácido pirúvico, intermediarios del ciclo de Krebs, etc.

**Hemoproteína:** Proteína que contiene Hierro

**IMB:** Requerimiento energético mínimo para mantenerse vivo.

**Lactacidemia:** Concentración de lactato en sangre.

**Osteoporosis:** Fragilidad de los huesos producida por su descalcificación, con formación de poros y disminución de su densidad.

**PDH:** Compuesto multienzimático compuesto por cinco coenzimas y tres enzimas mediante las cuales se lleva a cabo la descarboxilación oxidativa del piruvato.

**Relación de Intercambio Respiratorio (RIR):** Relación del volumen de  $\text{CO}_2$  eliminado por los pulmones por minuto vs el volumen de oxígeno que entra en los pulmones durante el mismo periodo de tiempo ( $\text{RIR} = \text{CO}_2 / \text{VO}_{2\text{max}}$ ).

**Respuesta o ajuste:** cambios funcionales transitorios que tienen lugar en el transcurso del ejercicio físico.

**Selenoproteína:** Proteína que contiene Selenio.

**Sistema de Aporte de Energía (SAE):** Reacciones acopladas para la producción de energía (ATP).

**Sistema de Aporte de Oxígeno (SAO):** Sistema cardiorrespiratorio, cuya función es abastecer de oxígeno a los músculos.

**Suplemento alimenticio:** Productos a base de hierbas, extractos vegetales alimentos tradicionales, deshidratados o concentrados de frutas, adicionados o no, de vitaminas o minerales, que se pueden presentar en forma farmacéutica y cuya

finalidad de uso sea incrementar la ingesta dietética total, complementarla o suplir algún componente (artículo 215, fracción V, de la LGS).

**Tolerancia ortostática:** Respuesta o tolerancia del organismo a los cambios de posición, especialmente a la verticalización.

**Ventilación minuto ( $V_E$ ):** Cantidad de aire espirado por los pulmones en un minuto ( $TV \cdot FR$ )

**Ventilación pulmonar:** Movimientos de entrada y salida de aire a los pulmones.

**Volumen corriente ( $TV$ ):** Aire ventilado por respiración.

**Volumen de carga:** Cantidad de carga (km recorridos, horas de duración)

**Volumen máximo de oxígeno ( $VO_{2max}$ ):** Volumen máximo de oxígeno consumido por minuto durante el ejercicio.

**Volumen Minuto o Gasto Cardíaco ( $Q$ ):** Cantidad de sangre propulsada por los ventrículos (L/min).

**Volumen sistólico ( $VS$ ):** es la cantidad de sangre bombeada por el corazón en cada latido.

# 1.- INTRODUCCIÓN

---

## 1.1 ACTIVIDAD FÍSICA Y DEPORTE

Los seres humanos estamos constituidos para tener actividad física; la cual se define como cualquier movimiento corporal que incrementa en forma significativa el gasto de energía respecto al reposo (*Pedraza, 1989*).

Por el contrario, la inactividad física extrema o la inmovilización provoca cambios importantes, principalmente en la circulación (pérdida de la tolerancia ortostática, cambios desfavorables en el equilibrio osmótico e hidroelectrolítico, reducción de la potencia aeróbica máxima, entre otros efectos), fragilidad ósea que puede derivar en osteoporosis, debilidad muscular, reducción de la función articular, problemas digestivos, disminución del metabolismo, aparición de sobrepeso y obesidad, dislipidemias, depresión, etc. (*Perl-Olof Astrand, 2010*)

La actividad física habitual mejora el uso de los sustratos metabólicos aumentando la sensibilidad a la insulina, reduciendo así las concentraciones de glucosa en sangre de pacientes con diabetes tipo I y tipo II, mejora salud mental, protege de enfermedades cardiovasculares, entre otros beneficios y dependiendo de su intensidad evita la pérdida, o aumenta la masa de músculo esquelético (*Perl-Olof Astrand, 2010*). La recomendación mínima diaria para un individuo es incluir al



menos 30 minutos diarios de actividad física de intensidad moderada (*Perl-Olof Astrand, 2010*)

El deporte es una actividad física que se sujeta a normas específicas, como lo dicta la Ley General de Cultura Física y Deporte (Diario Oficial de la Federación el 7 de junio de 2013, Artículo 5). La práctica de cualquier deporte requiere de entrenamiento, el cual supone la preparación del individuo de manera especial para la práctica de un deporte en particular (*Perl-Olof Astrand, 2010*).

### **1.1.1 ENTRENAMIENTO DEPORTIVO**

El entrenamiento deportivo es un proceso cuyo objetivo es desarrollar la potencialidad máxima del sujeto en el deporte que practica. El entrenamiento va dirigido a mejorar las capacidades fisiológicas, psicológicas y tácticas del sujeto para que éste pueda superar las tareas más exigentes, es decir, el entrenamiento está dirigido a mejorar el rendimiento físico del deportista para que éste cada vez mejore su capacidad de respuesta ante las exigencias del deporte que practica (*González-Boto, 2007*).

De acuerdo a los profesionales del deporte podemos definir al entrenamiento como un proceso pedagógico-educativo, sistemático, continuo, de larga duración de trabajo físico con cargas funcionales crecientes que busca la adaptación morfofuncional, psíquica, técnica y táctica para mejorar el rendimiento en la prueba en un deporte en concreto (*Delvis, 2009; González-Boto, 2007*).

#### 1.1.1.1 Principales características del entrenamiento

El entrenamiento debe ser sistemático y desarrollarse bajo una planeación para que se puedan lograr los resultados esperados. Es un proceso que se desarrolla de forma individual, ya que implica las capacidades de cada deportista. Éstas adaptaciones dependen del estímulo (carga) que se aplica durante el entrenamiento (*González-Boto, 2007*).

Existen diferentes tipos de cargas, las cuales, en función de la tolerancia y utilidad Zhelyascob (2001) las clasifica en máximas (90%-100% de la intensidad máxima), submáximas (75%-90%), medias (60%-75%), moderadas (56%-60%), pequeñas (30%-45%) e insignificantes (< 30%) (*González-Boto, 2007*).

#### 1.1.2 RENDIMIENTO FÍSICO

La competencia deportiva es la forma más común de medir el rendimiento deportivo, y se puede medir de forma objetiva en unidades de longitud, de tiempo o de trabajo; o de forma subjetiva a través de la apreciación visual, como se hace en el nado sincronizado y otras disciplinas. Existen numerosos factores que pueden afectar el rendimiento físico, como los genéticos, los somáticos, la adaptación al entrenamiento, la naturaleza del ejercicio, la nutrición, los psicológicos (como la motivación), el medio ambiente, los ritmos circadianos, el consumo de fármacos y/o drogas, el alcohol y/o el tabaco. Estos factores modifican la utilización (aumenta o disminuye) de energía muscular para desempeñar la actividad física (*Perl-Olof Astrand, 2010*).

Los factores genéticos tienen un papel importante en la capacidad física del individuo ya que *“la respuesta individual al entrenamiento también se asocia con un genotipo heredado”*. Según Bouchand y Malina (1983) parece que el 70% de las capacidades máximas de fuerza y potencia están determinadas por la genética. El resto de los factores consiguen modificarse a través del entrenamiento y una alimentación adecuada (*Perl-Olof Astrand, 2010*).

#### **1.1.2.1 Indicadores del rendimiento deportivo**

##### **1.1.2.1.1 Psicológicos**

Es de especial importancia en los deportes donde hay contacto físico, la duración es muy larga o tienen necesidades psicológicas especiales para poder soportar esfuerzos de alta intensidad, por tiempos prolongados y/o bajo ciertas condiciones de presión. Entre las características psicológicas de mayor importancia están el control de la ansiedad, la autoconfianza y la concentración (*UrdampilletaAritz, 2012*).

##### **1.1.2.1.2 Tácticos y biomecánicos**

La técnica se refiere a la ejecución de los movimientos siguiendo una estructura modelo que garantiza la eficiencia; la táctica se refiere a que el deportista sea capaz de percibir, analizar situaciones y ejecutar el movimiento adecuado. La biomecánica correcta, por el contrario, se refiere a la eficacia y eficiencia

ergonómica y metabólica de la técnica deportiva. Al lograrse una mejora biomecánica se consigue mejorar la eficiencia energética, así como hacer más efectiva y funcional la utilización de las fuerzas y sustratos energéticos *(UrdampilletaAritz, 2012)*.

#### **1.1.2.1.3 Biológicos, funcionales y de aptitud física**

Estos indicadores dependerán del tipo de deporte que se practica, entre ellos podemos encontrar la recuperación de la frecuencia cardiaca, desplazamiento de la curva de lactato a la derecha (mejora de la eficiencia metabólica), consumo máximo de oxígeno ( $VO_{2max}$ ) *(UrdampilletaAritz, 2012)*.

#### **1.1.2.1.4 Bioquímicos, hematológicos y hormonales**

Entre los parámetros bioquímicos de mayor importancia en el deportista encontramos a la Ferritina, como indicador de las reservas de hierro, el lactato como un indicador del Sistema de Aporte de Energía (SAE) aerobio-anaerobio que se utiliza, la urea como un indicador de adecuación de dieta, las aminotransferasas (AST, ALT) y la creatincinasa (CK) como indicadores de intensidad de esfuerzo y daño muscular *(Tresguerres, 2005; Urdampilleta Aritz, 2012)*.

Con respecto a los parámetros hematológicos encontramos a los eritrocitos, la hemoglobina y el hematocrito, relacionados con el transporte de oxígeno e indicadores de la presencia o ausencia de anemia; así como a los Leucocitos que

son indicadores de la función inmunológica (*Tresguerres, 2005; Urdampilleta Aritz, 2012*).

Finalmente, entre las hormonas participantes en el entrenamiento deportivo encontramos al cortisol como indicador de estrés psico-físico, y a la adrenalina y noradrenalina que se ven aumentadas en relación con el aumento de intensidad del trabajo realizado (*Tresguerres, 2005; Urdampilleta Aritz, 2012*).

#### **1.1.2.1.1 Antropométrico y morfológico**

Las variables antropométricas tienen gran relación entre la compatibilidad del sujeto y su deporte; es decir, el mantener las proporciones morfológicas más acordes a la disciplina deportiva. Por ello se considera de gran importancia la distribución del somatotipo y de los 4 componentes básicos de la masa corporal (masa grasa, masa muscular, masa ósea y masa residual) (*Urdampilleta Aritz, 2012*).

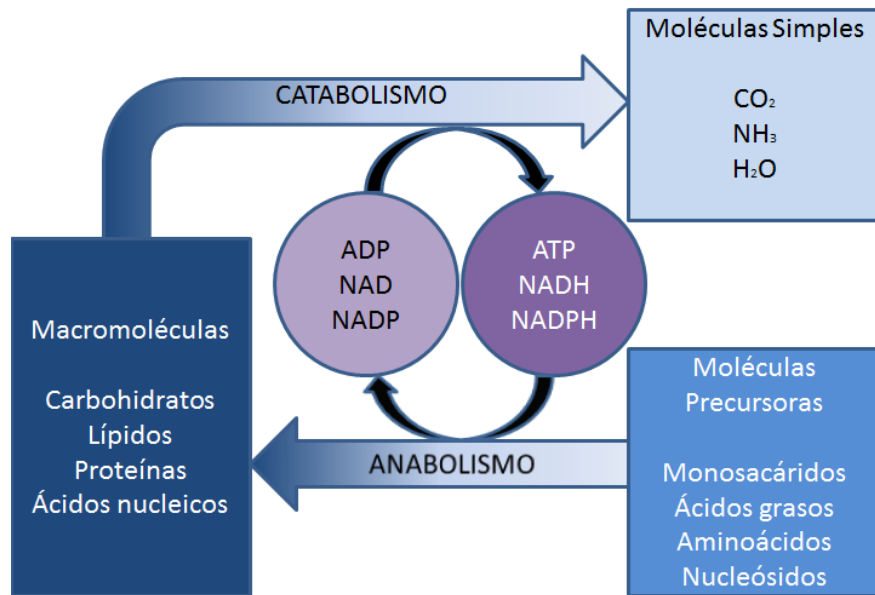
#### **1.1.3 FISIOLÓGIA DEL EJERCICIO**

Durante el ejercicio, la velocidad de los procesos metabólicos se incrementa, por lo que, el cuerpo debe ajustarse para responder a las necesidades energéticas. Lo hace mediante los siguientes dos fenómenos: la **respuesta o ajuste**, esta ocurre dentro de los primeros 3 o 5 segundos, en donde se manifiestan cambios transitorios en la homeostasis; y la **adaptación** ocurre dentro de los primeros 3 a 4 minutos, en la cual se producen modificaciones metabólicas, circulatorias,

cardiacas, respiratorias, hematológicas, etc., las cuales permanecerán siempre y cuando no se modifique la intensidad del ejercicio, facilitando una mejor respuesta. El proceso de adaptación temporal se da únicamente mediante el entrenamiento a largo plazo (*Tresguerres, 2005*).

#### **1.1.3.1 SAE y modificaciones metabólicas**

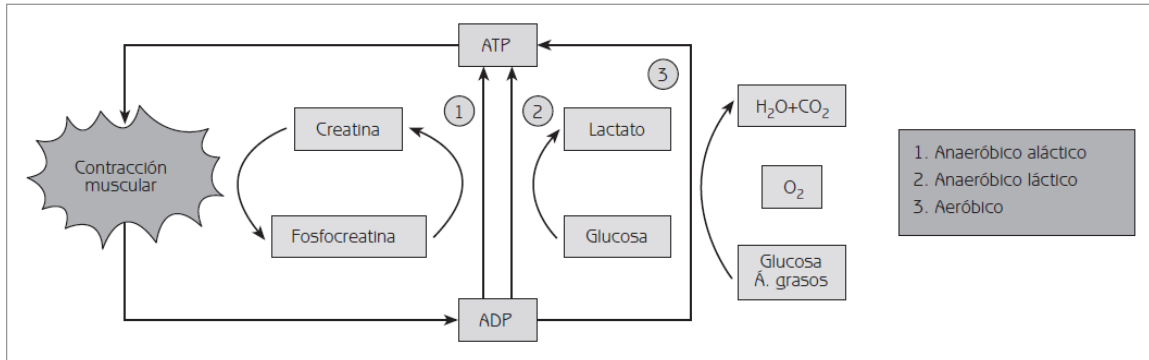
Las células poseen un sistema de reacciones químicas que producen y utilizan energía, sistema al cual se le conoce como metabolismo. El metabolismo consiste en dos procesos opuestos llamados catabolismo y anabolismo, mediante los cuales convierten los alimentos en formas utilizables de energía y moléculas biológicas complejas. El catabolismo consiste en una serie de reacciones que degradan los alimentos ingeridos a formas de energía utilizables o almacenadas, energía con la cual, la célula puede realizar diversas funciones musculares, entre ellas la contracción muscular. Las reacciones catabólicas liberan energía, con la que se forma ATP y algunas otras moléculas como NADH y NADPH (Fig. 1) (*Devlin, 2004*).



**Fig. 1 Metabolismo**

El vínculo entre las vías anabólicas y catabólicas es el ATP, el cual en su molécula contiene enlaces fosfato de alta energía. La síntesis y utilización de ATP implica la formación e hidrólisis o la transferencia del grupo fosfato terminal (*Devlin, 2004*).

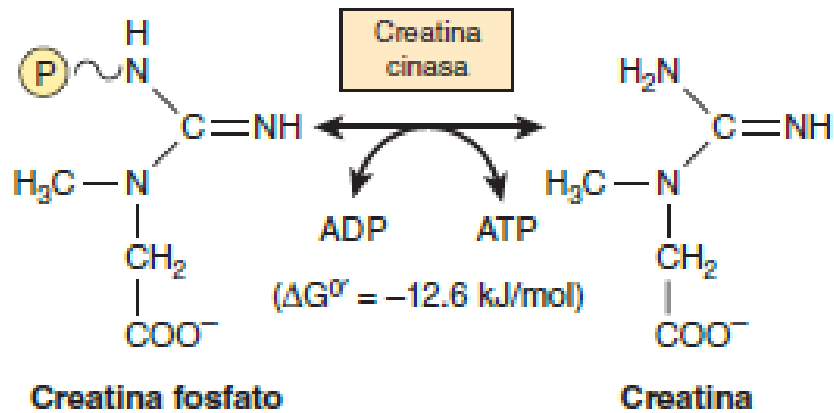
La célula del músculo utiliza tres diferentes vías para obtener ATP: 1) Vía Anaeróbica Aláctica (VAA), 2) Vía Anaeróbica Láctica (VAL) y 3) Vía Aeróbica (VA) (figura 2) (*López Chicharro José, 2008*).



**Fig. 2 Vías del sistema de aporte de energía(SAE) en el miocito (López Chicharro José, 2008).**

Durante las actividades de alta intensidad el ATP es utilizado con una velocidad mayor de la que puede ser sintetizado por vía aeróbica, en dichas condiciones, la VAA es la de elección. En ésta vía, se lleva a cabo en el citosol mediante el metabolismo de los fosfágenos. La PC almacenada en el miocito proporciona la energía necesaria para la síntesis de ATP a partir de ADP y P. La realización de éste proceso tiene una duración muy corta (10 a 30 segundos) ya que las reservas de PC se agotan rápidamente provocando fatiga si otros procesos metabólicos no iniciaran paralelamente. El sistema ATP-PC es de gran utilidad en la obtención de energía de forma rápida (figura 3) (Bowers-Richard W, 1995; López Chicharro José, 2008).



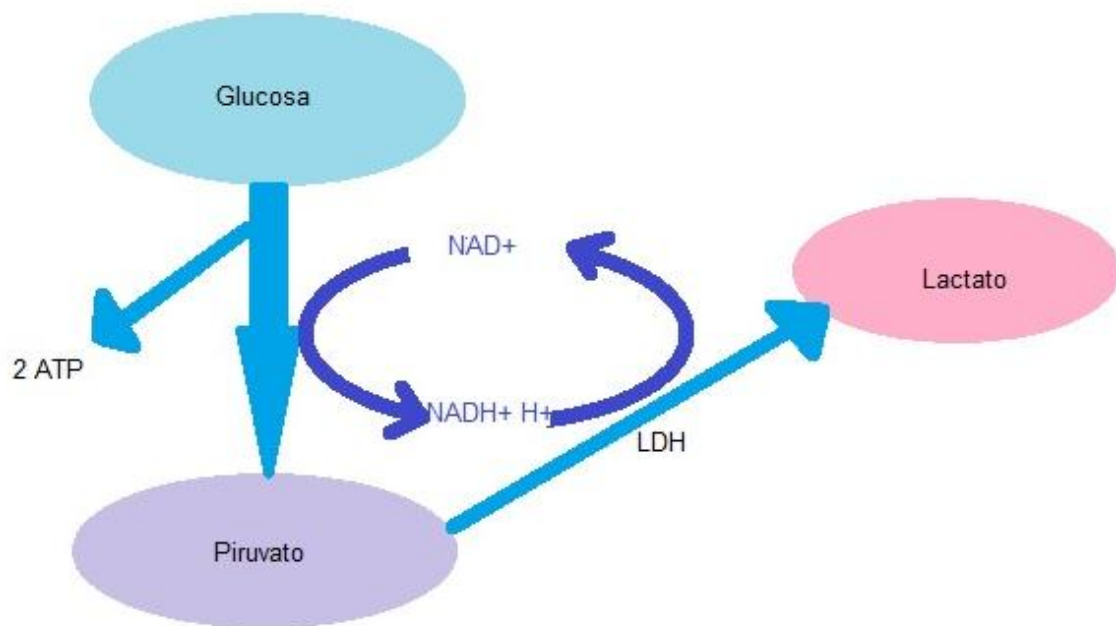


**Fig. 3 Síntesis de ATP por la vía anaeróbica aláctica (VAA) (Murray RK, 2010)**

La VAL ó glucólisis anaeróbica utiliza como sustratos energéticos al glucógeno y a la glucosa. Se lleva a cabo en el citosol y sin la participación de oxígeno, obteniendo 2ATP por cada molécula de glucosa (figura 4). El miocito utiliza ésta vía cuando la demanda de energía es mayor a la velocidad de la VA. Durante la glucólisis, la glucosa es oxidada obteniéndose piruvato y 2 moléculas de NADH. Los 2NADH al no entrar en la mitocondria, se vuelven a oxidar transformándose en NAD<sup>+</sup> mediante una reacción catalizada por la enzima lactato deshidrogenasa misma que reduce al piruvato convirtiéndolo transitoriamente en lactato (figura 5). Cuando el lactato se acumula en el músculo y en la sangre alcanza concentraciones muy altas, esta acumulación se asocia una acidosis metabólica la cual causa fatiga. La intensidad del ejercicio en que comienza a acumularse el lactato en la sangre se da de manera diferente en cada individuo y se le conoce como umbral anaeróbico (Bowers-Richard W, 1995; López Chicharro José, 2008).



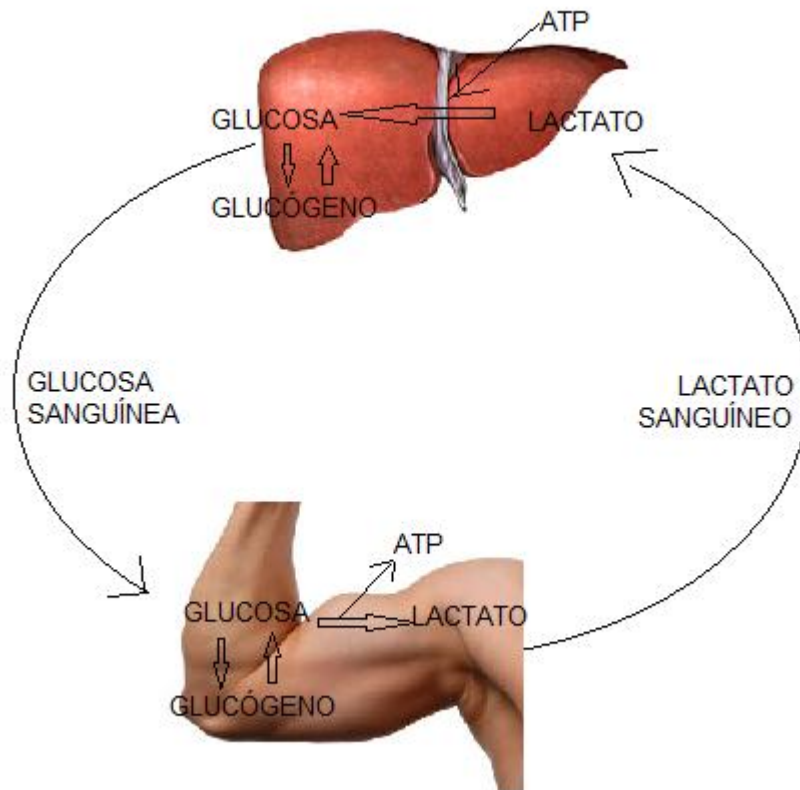
**Fig. 4 Ecuación general de la glucólisis anaerobia**



**Fig. 5 Síntesis de ATP por la vía anaeróbica láctica (VAL)**

El lactato producido por el músculo durante el metabolismo anaeróbico, es llevado en la sangre hasta el hígado, el cual lo utiliza para la síntesis de glucosa, la cual

puede regresar al músculo en un ciclo al cual se le conoce como Ciclo de Cori (figura 6) (Murray RK, 2010).

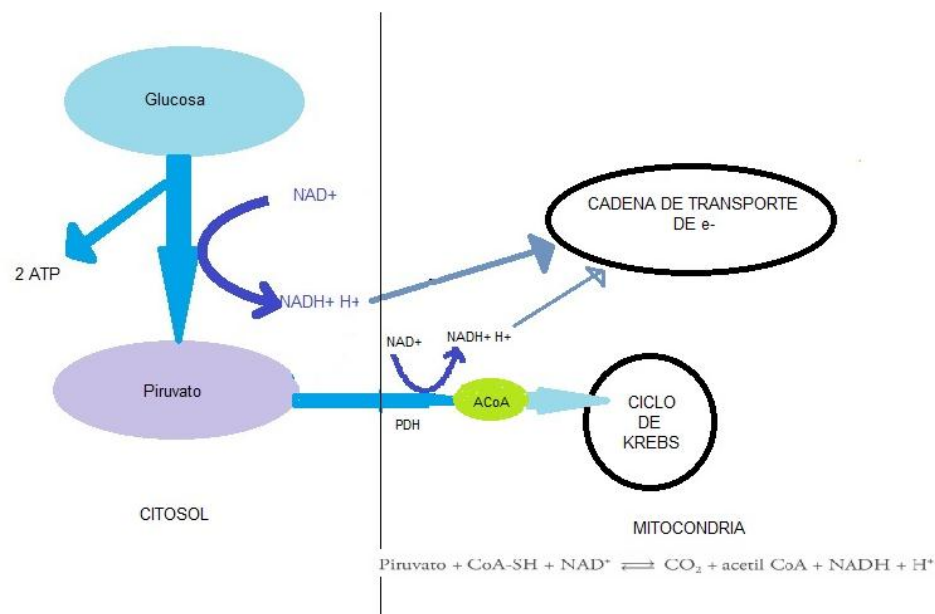


**Fig. 6 Ciclo de Cori**

El músculo tiene una tercera vía de obtención de ATP, ésta corresponde a la vía aeróbica (VA) mediante la cual, el miocito obtiene cantidades mayores de ATP al degradar el glucógeno a  $\text{CO}_2$  y agua. Además del glucógeno, las grasas y las

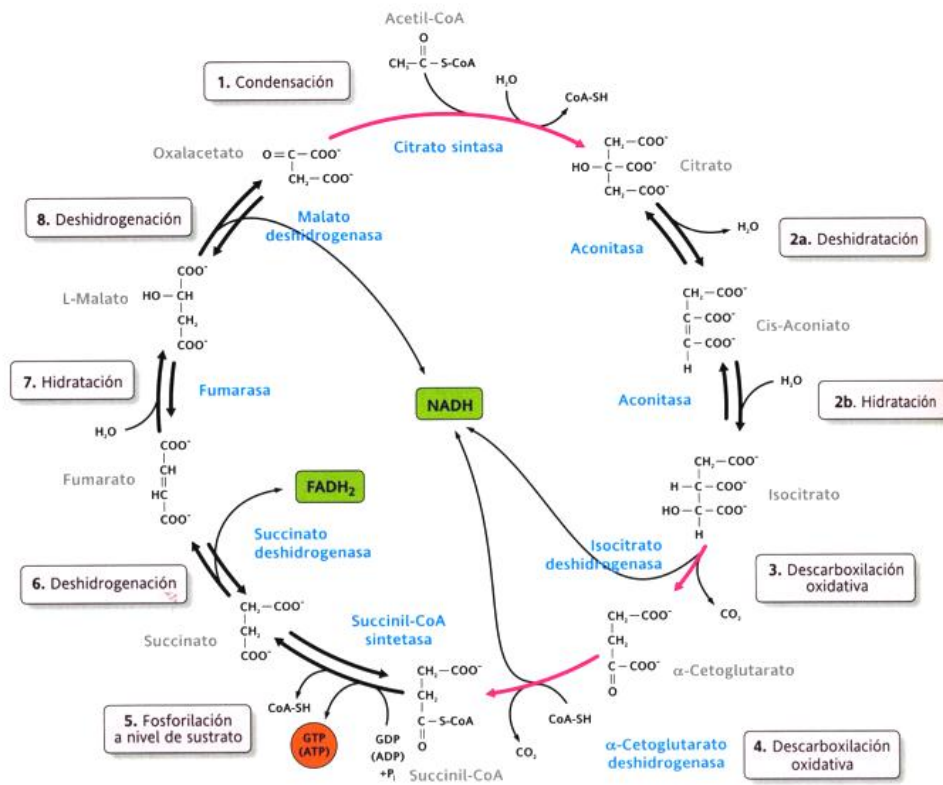
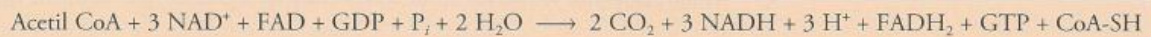
proteínas pueden ser degradadas a CO<sub>2</sub> y agua a través de esta vía mediante el ciclo de Krebs (figura 8), el sistema de transporte de electrones (figura 9) y la oxidación beta (figura 10) (Bowers-Richard W, 1995).

La glucólisis aerobia se refiere a la degradación de la glucosa a piruvato en presencia de oxígeno. En condiciones aeróbicas, el piruvato entra en la mitocondria y por acción de la enzima PDH es descarboxilado originando una molécula de Acetil CoA (ACoA), la cual entra al ciclo de Krebs para continuar su degradación hasta CO<sub>2</sub> (figura 7) (Feduchi Canosa, 2015; López Chicharro José, 2008).



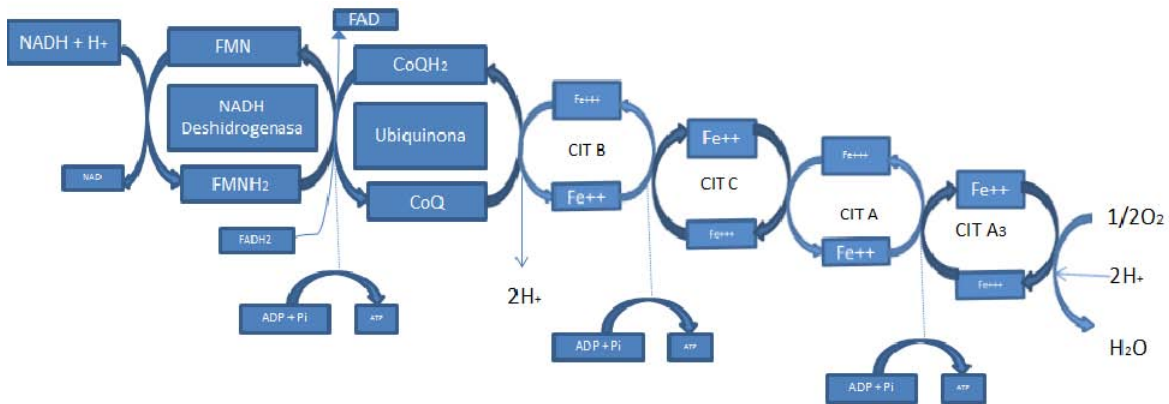
**Fig. 7 Vía aerobia (VA)**

Durante el ciclo de Krebs (figura 8), la molécula de ACoA sufre una serie de transformaciones que se realizan por acción de distintas enzimas, cada mol de ACoA genera 3 NADH, 1 FADH<sub>2</sub>(los cuales entran en la cadena de transporte de electrones, ver figura 9) y 1 GTP obteniendo así un total de 10 ATP. La oxidación completa de cada grupo acetilo del ACoA puede representarse entonces mediante la siguiente reacción: *(Feduchi Canosa, 2015; López Chicharro José, 2008)*.



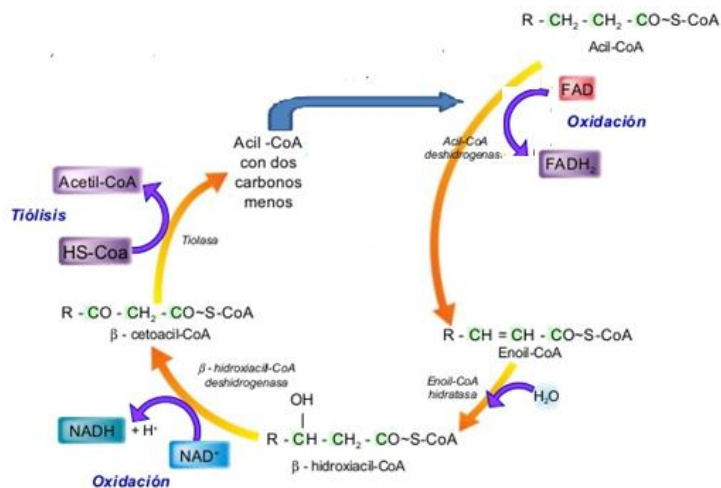
**Fig.8. Ciclo de Krebs** *(Feduchi Canosa, 2015)*

El metabolismo completo de un mol de glucosa genera entonces 32 ATP en el metabolismo por VA (*Baynes, 2011*)



**Fig. 9 Cadena de transporte de electrones**

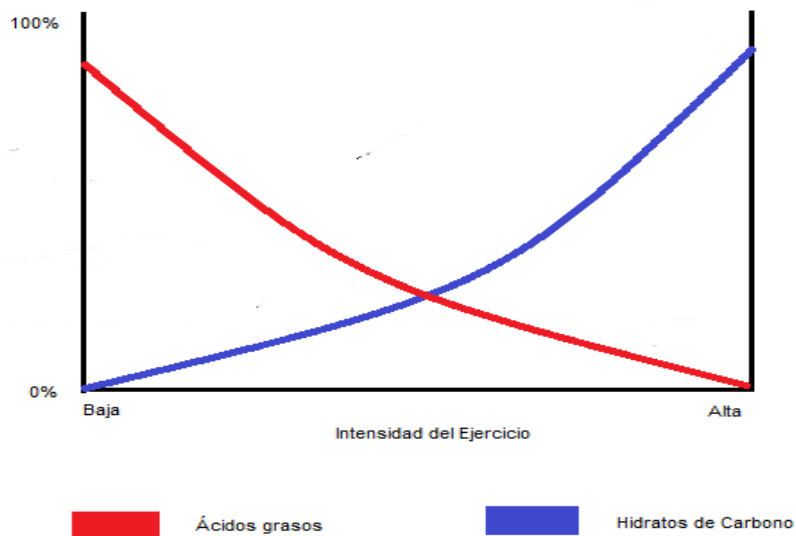
Los ácidos grasos (AG) son la principal reserva de energía provenientes de los triacilglicérols (TAG). Cuando la duración del ejercicio aumenta, los TAG son degradados a ácidos grasos y glicerol (lipólisis). Los AG son degradados mediante beta oxidación (figura 10) a ACoA. Cada molécula de ACoA entra al ciclo de Krebs para oxidarse hasta CO<sub>2</sub> y agua para obtener finalmente ATP mediante la cadena de transporte de electrones (Figuras 8 y 9 respectivamente) (*Devlin, 2004; López Chicharro José, 2008*).



**Fig. 10 Beta oxidación**

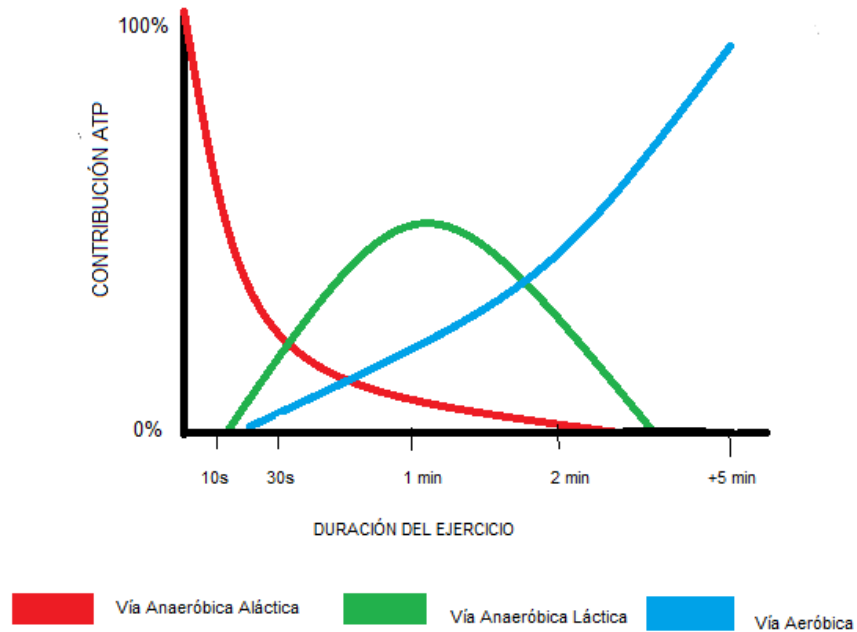
El uso de carbohidratos o de lípidos como fuente de energía principal, depende de la intensidad y la duración del ejercicio, así como del nivel de acondicionamiento (el agotamiento del glucógeno muscular conduce a la fatiga, a mayor acondicionamiento muscular, mayor capacidad de oxidación lipídica), el estado nutricional y la dieta del deportista. Al aumentar la intensidad del ejercicio y disminuir su duración, los carbohidratos se convierten en el combustible de elección para la obtención de energía, incrementándose la proporción de su uso con respecto a los lípidos. Al disminuir la intensidad del ejercicio y aumentar su duración, la VA es la de elección para la obtención de energía y con ella el uso de los lípidos como fuente principal. Al inicio del esfuerzo, los carbohidratos actúan

como fuente principal de energía, y durante la consecución de la prueba, la proporción de uso de los carbohidratos va disminuyendo y la proporción de los AG se va incrementando lentamente (Figura 11). Es importante mencionar que ninguna de las tres vías del SAE actúan de manera independiente, sino que se lleva a cabo una transición suave entre ellas, existiendo siempre una vía que predomina dependiendo de las condiciones en que se realiza el ejercicio (Figura 12) (Bowers-Richard W, 1995; López Chicharro José, 2008; Tresguerres, 2005).



**Fig. 11 Fuente de energía e intensidad del ejercicio**





**Fig. 12 Vías del sistema de aporte de energía (SAE) y duración del ejercicio**

### **1.1.3.1.1 Regulación de la glucemia en el ejercicio**

Durante el ejercicio de corta duración y de intensidad baja a moderada, la concentración de glucosa en sangre permanece prácticamente constante, mientras que en el ejercicio intenso es posible observar disminución de la glucosa con respecto a los valores en reposo (*Ramos-Jiménez Arnulfo, 2014*). El hígado se encarga de producir y liberar glucosa al torrente sanguíneo, tratando de equilibrar con ello el consumo del músculo. Durante el reposo y en ayunas, la producción de glucosa proviene principalmente de la glucogenólisis y en menor porcentaje de la gluconeogénesis, y durante el ejercicio continuo y de mayor duración ésta

producción se va haciendo mas dependiente de la gluconeogénesis (*Bowers-Richard W, 1995; Firman, 2000; Tresguerres, 2005*)

#### **1.1.3.1.2 Respuesta hormonal al ejercicio**

Durante el ejercicio, se observa un descenso de la insulina y aumento del glucagón, somatotrofina, adrenalina, noradrenalina y cortisol. El incremento de las catecolaminas y glucagon favorecen la liberación de AG, los cuales son llevados al músculo, para ser oxidados (beta oxidación) para que los AG sean utilizados en mayor proporción y se reduzca la utilización de la glucosa (*Tresguerres, 2005; Firman, 2000*).

#### **1.1.3.2 Función y adaptación muscular**

El músculo esquelético humano está formado por 2 tipos de células (llamadas también fibras musculares), las fibras tipo I o de contracción lenta (CL) y las fibras tipo II o de contracción rápida (CR), de las cuales se conocen dos subtipos IIA y IIX. Los tipos y subtipos de fibras musculares se diferencian entre sí por las isoformas de miosina que contienen, la velocidad de contracción, su metabolismo, etc.,(*Bowers-Richard W, 1995; López Chicharro José, 2008*).

##### **1.1.3.2.1 Fibras tipo I**

Tienen una alta capacidad aeróbica (oxidativa), presentan tiempos de contracción lento, son conocidas también como fibras oxidativas lentas (OL), en otras

palabras, están preparadas metabólicamente para el ejercicio aeróbico o de resistencia (prolongados) (*Bowers-Richard W, 1995; López Chicharro José, 2008*)

#### **1.1.3.2.2 Fibras tipo II**

Tienen una mayor capacidad anaeróbica, tiempos de contracción rápidos, por lo que también son conocidas como fibras glucolíticas rápidas (GR). Dicho de otra manera, están preparadas metabólicamente para ejercicios anaeróbicos de corta duración y mayor intensidad. En la tabla 1 se muestran las características diferenciadoras de los distintos tipos de fibras musculares (*Bowers-Richard W, 1995; López Chicharro José, 2008*).

La distribución del tipo de fibras en cada músculo es de proporción variable y en cada individuo está determinada por factores genéticos, la actividad física y el tipo de músculo del que se trate. Cuando la intensidad de trabajo es elevada se produce reclutamiento de fibras tipo II (siempre precedido de reclutamiento de fibras tipo I) y sólo se da en los músculos que se entrenan (*López Chicharro José, 2008*).

1 Principales características diferenciadoras de los distintos tipos metabólicos de fibras musculares			
	Lentas (tipo I)	Intermedias (tipo IIA)	Rápidas (tipo IIX)
Diámetro	Intermedio	Grande	Pequeño
Grosor de línea Z	Ancho	Intermedio	Estrecho
Contenido de glucógeno	Bajo	Intermedio	Alto
Resistencia a la fatiga	Alta	Intermedia	Baja
Capilares	Muchos	Muchos	Pocos
Contenido de mioglobina	Alto	Alto	Bajo
Velocidad de contracción	Lenta	Rápida	Rápida
Actividad ATPasa	Baja	Alta	Alta
Sistema energético predominante	Aeróbico	Combinado	Anaeróbico
Motoneurona	Pequeña	Grande	Grande
Descarga	Baja	Alta	Alta

Tabla 1: Características diferenciadoras de los distintos tipos metabólicos de fibras musculares (*López Chicharro José, 2008*)

### 1.1.3.3 Adaptaciones neurales

Durante el entrenamiento de fuerza, no sólo son importantes las adaptaciones musculares, sino también las adaptaciones en el sistema nervioso, incluso es posible obtener mejoría en la fuerza antes de que se observen adaptaciones en el músculo. Las adaptaciones neurales de mayor importancia son mejora en la activación del SNC y en la sincronización de las unidades motoras, y relentización de los reflejos de inhibición neural (*López Chicharro José, 2008*).

### 1.1.3.4 SAO y modificaciones circulatorias

Para que el oxígeno pueda ser utilizado en el metabolismo aeróbico, es necesario que éste sea transportado desde el medio ambiente hasta los músculos. El transporte implica la participación de los sistemas circulatorio y respiratorio. En el

sistema circulatorio tiene lugar el transporte de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> así como el intercambio de estos gases entre la sangre y el músculo (*Bowers-Richard W, 1995*).

Durante el ejercicio, el sistema cardiovascular debe aumentar el flujo sanguíneo hacia los músculos activos, lo cual se consigue con un incremento de la frecuencia cardiaca (FC) y el volumen sistólico (VS). El flujo de sangre hacia los músculos durante el ejercicio puede incrementarse hasta 20 veces con respecto al flujo en reposo, de ésta manera se provee al músculo de una mayor cantidad de nutrientes, entre ellos de O<sub>2</sub> (*Tresguerres, 2005*).

Durante el ejercicio, el flujo sanguíneo debe adecuarse a las necesidades metabólicas, para ello, en los músculos activos se produce dilatación de las arteriolas, mientras que en los músculos menos activos, se cree, se produce una constricción compensatoria, la cual no aplica en cerebro y corazón pues éstos requieren de una buena provisión de sangre en todo momento. El calibre de los vasos sanguíneos es regulado por diversos factores de tipo nervioso (adrenérgico y colinérgico), mecánico y químico (hipoxia, incremento en las concentraciones de CO<sub>2</sub> y ácido láctico, etc.) (*Firman, 2000*).

La contracción del corazón provee la fuerza necesaria para que sea posible el incremento en el flujo sanguíneo, por lo que uno de los ajustes durante el ejercicio es el incremento de la presión sanguínea. El incremento del VS hace que sea necesario un incremento en la presión sanguínea sistólica para poder vencer la resistencia periférica de las arteriolas. El incremento de la FC eleva la presión

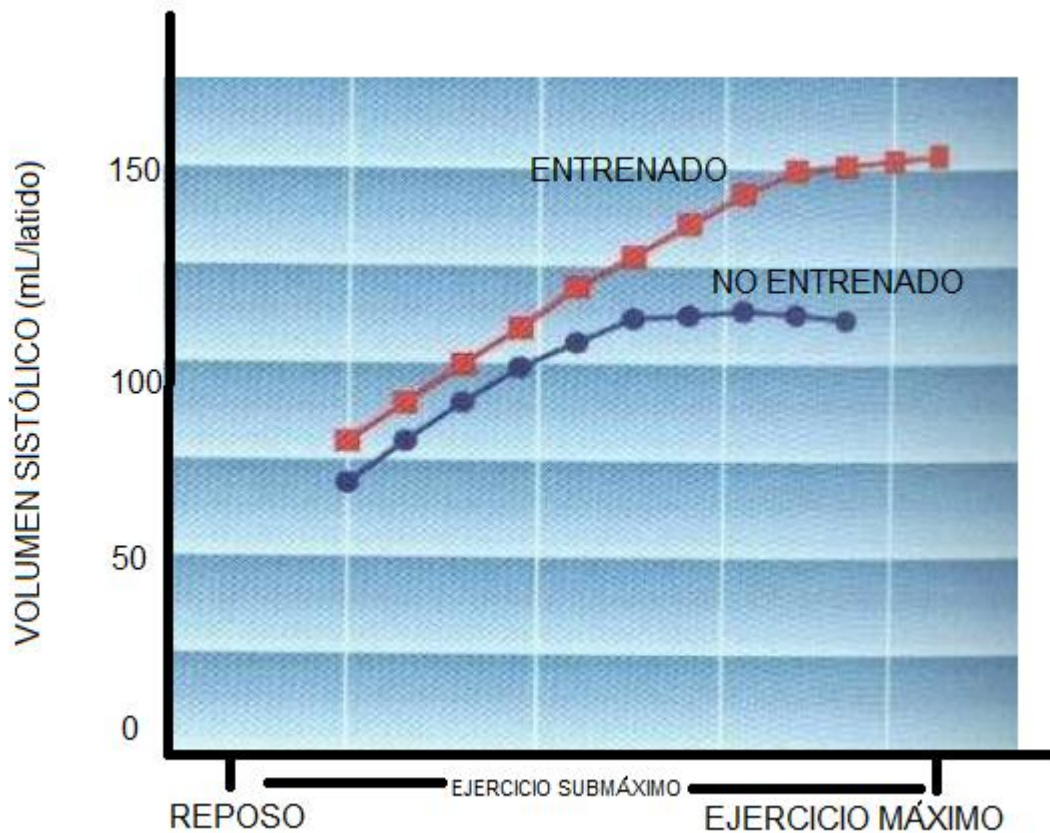
diastólica al disminuir el tiempo para la caída de la presión en la diástole (*Firman, 2000*)

#### **1.1.3.5 SAO y modificaciones cardiacas**

El corazón de un atleta es más eficiente que el corazón de una persona no entrenada tanto en reposo como durante el ejercicio, esto se debe a las adaptaciones provocadas por el entrenamiento (*Bowers-Richard W, 1995*). Entre estas adaptaciones encontramos el aumento de la cavidad cardiaca y grosor del miocardio (con ello el corazón recibe e impulsa más sangre), la disminución de la frecuencia cardiaca, aumento de la capacidad pulmonar (*José María Villalón, 2009*)

El volumen minuto o gasto cardiaco (Q), es la cantidad de sangre que expulsan los ventrículos por minuto. En reposo, Q está entre 5 y 6 L/min, y aumenta con el ejercicio. En personas entrenadas puede alcanzar hasta 35 L/min durante el ejercicio máximo. El volumen minuto está conformado por el volumen sistólico (VS) y la frecuencia cardiaca (FC) mediante la relación  $Q=VS*FC$  (*Bowers-Richard W, 1995*).

El volumen sistólico (VS) es la cantidad de sangre bombeada por el corazón en cada latido. En reposo, en personas no entrenadas es de 70 a 80 mL/latido. En atletas el VS puede aumentar hasta 110 mL/latido. El VS se eleva al máximo desde el ejercicio submáximo, sin incrementarse más cuando el trabajo es máximo (figura 13) (*Bowers-Richard W, 1995*).

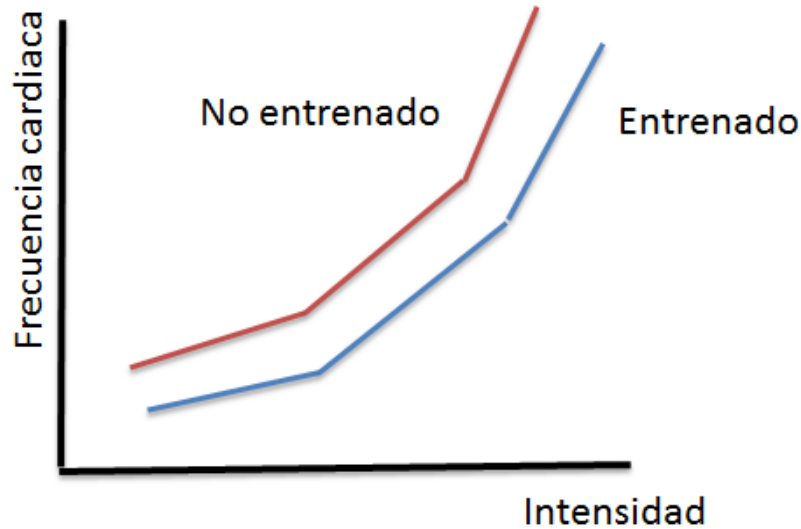


modificado de [www.slideshare.net/ANALISIS/respuestas-y-adaptaciones-pulmonares-al-ejercicio-10524193](http://www.slideshare.net/ANALISIS/respuestas-y-adaptaciones-pulmonares-al-ejercicio-10524193)

**Fig. 13 Volumen sistólico durante el ejercicio**

La frecuencia cardiaca (FC) es el número de latidos por minuto. En personas no entrenadas la FC en reposo oscila entre 60 y 80 latidos/min, en los atletas la FC en reposo es menor. Durante el ejercicio la FC aumenta, pero éste incremento es menor en atletas que en personas no entrenadas (figura 14), aunque el tipo de ejercicio influye en el incremento. Existe una relación directa entre la FC máxima

(FC máxima teórica = 220- edad en años ) y la captación de O<sub>2</sub> (Bowers-Richard W, 1995; Firman, 2000).



modificado de [www.cambiatufisico.com/frecuencia.cardiaca/](http://www.cambiatufisico.com/frecuencia.cardiaca/)

**Fig. 14 Frecuencia cardíaca durante el ejercicio**

Al terminar el ejercicio, la FC se va normalizando, pero el tiempo que tarda en normalizarse depende del ejercicio realizado (intensidad y duración), así como de la condición física del individuo (Firman, 2000).

Las adaptaciones cardiovasculares más importantes, debidas al entrenamiento son hipertrofia cardíaca, aumento del VS y bradicardia en reposo.

#### 1.1.3.6 SAO y modificaciones respiratorias

En el sistema respiratorio se produce la entrada y salida de aire a los pulmones (ventilación pulmonar) y el intercambio de gases (O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>) entre los pulmones y



la sangre. Aproximadamente un 70% del aire ventilado llega a los alvéolos (ventilación alveolar) donde se lleva a cabo el intercambio de gases (*Bowers-Richard W, 1995*).

La ventilación se incrementa desde antes de iniciar el ejercicio, esto probablemente debido a influencias nerviosas generadas en los músculos y articulaciones. Durante el ejercicio la ventilación va aumentando lentamente durante unos minutos y se estabiliza hasta el final del ejercicio, mientras que durante el ejercicio máximo el incremento sigue lento y constante hasta el agotamiento. Al finalizar el ejercicio, la ventilación disminuye primero rápidamente y después más lento, hasta llegar a los valores de reposo (*Bowers-Richard W, 1995*).

El tabaquismo crónico incrementa la resistencia de las vías respiratorias dificultando así el movimiento del aire en los pulmones, es decir reduce la ventilación pulmonar y con ello, la cantidad de oxígeno disponible en los músculos (*Bowers-Richard W, 1995*).

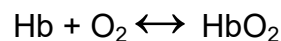
#### **1.1.3.6.1 Intercambio gaseoso**

El intercambio gaseoso entre el aire y la sangre se lleva a cabo en la membrana alveolo-capilar; el intercambio gaseoso entre la sangre y el músculo en la membrana tisulo-capilar. Ambos intercambios gaseosos se llevan a cabo mediante un proceso de difusión estimulado por mecanismos neurógenos y dependientes de

las presiones parciales de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> (éstas deben ser mayores en los sitios desde donde difunde el gas). La capacidad de difusión de gases durante el ejercicio máximo puede ser hasta tres veces mayor que en reposo y es mayor en los atletas de resistencia que en los individuos no entrenados (*Bowers-Richard W, 1995; Firman, 2000*).

#### **1.1.3.6.2 Transporte de gases por la sangre**

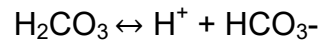
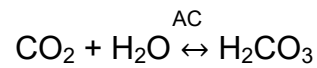
El oxígeno es transportado por los eritrocitos en combinación con la hemoglobina (Hb), una molécula presente en los eritrocitos, que consiste en dos unidades básicas, un grupo hemo (que contiene hierro) y una unidad proteica (globina). El oxígeno se combina químicamente con el grupo hemo en una reacción reversible formando oxihemoglobina:



La concentración de HbO<sub>2</sub> no se incrementa durante el ejercicio, pero sí la extracción de O<sub>2</sub> por los músculos, lo que produce un incremento de hasta tres veces en la diferencia arterio-venosa de oxígeno con respecto al reposo (*Tresguerres, 2005*).

El transporte de CO<sub>2</sub> se lleva a cabo de dos maneras, aproximadamente un 65% como ion bicarbonato, formado por disociación del ácido carbónico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) y alrededor del 30% como compuesto carbamínico (CO<sub>2</sub> unido a proteína

plasmática), esto ocurre en los eritrocitos a pH de 7.4, como se muestra en la siguiente reacción:



*(Bowers-Richard W, 1995).*

#### **1.1.3.6.3 Consumo de oxígeno**

El consumo de oxígeno para un varón adulto joven en reposo es alrededor de 300 mL/min lo que equivale a 3.5 mL/kg/min o 1 MET (unidad metabólica). Durante el ejercicio aeróbico, el consumo de oxígeno se incrementa hasta alcanzar volúmenes 10 a 25 veces mayores que en reposo *(Chauvet Ferrero, 2004; García Manso J.M., 1996).*

#### **1.1.3.7 Modificaciones hematológicas**

Los deportistas que realizan actividad física intensa y de larga duración suelen mostrar aumento de volumen plasmático, descenso del hematocrito y del recuento leucocitario, concentraciones bajas de hemoglobina, hierro y ferritina, y cambios en la coagulación *(Tresguerres, 2005).*

#### **1.1.3.7.1 Efectos en el volumen sanguíneo**

Durante el ejercicio, en personas entrenadas se observa un aumento del volumen plasmático debido a un incremento en la retención de sodio y agua, así como por la vasoconstricción (efectos del aumento de renina-angiotensina-aldosterona) *(Tresguerres, 2005)*.

#### **1.1.3.7.2 Efectos sobre la serie roja**

Durante los primeros momentos del ejercicio, en individuos entrenados, se produce hemoconcentración, es decir incremento de los eritrocitos, hematocrito, hemoglobina y proteínas plasmáticas; mientras que en ejercicio más prolongado se observa una hemodilución. En algunos casos cuando el esfuerzo realizado es agotador, puede haber destrucción eritrocitaria esto debido a la compresión en los capilares durante la contracción muscular y al incremento del flujo sanguíneo, éstos efectos permanecen durante algunos días tras el ejercicio *(Firman, 2000)*.

#### **1.1.3.7.3 Efectos sobre la serie blanca**

El ejercicio incrementa el recuento leucocitario, principalmente de los neutrófilos, ya que éstos durante el reposo se encuentran adheridos a las paredes de los vasos y durante el ejercicio, con el incremento del volumen y la velocidad del flujo sanguíneo los arrastran reflejándose así el incremento. La respuesta inmunológica dependerá del tipo de ejercicio y al estrés *(Firman, 2000)*.

#### **1.1.3.7.4 Efectos sobre la coagulación y fibrinólisis**

Inmediatamente después del ejercicio y hasta 60 minutos después, se acorta el tiempo de coagulación (TTP), debido al incremento de los factores VIII, IX, X y XII de coagulación. Con el ejercicio hay un incremento en la actividad fibrinolítica, esto debido a un incremento en la concentración del factor activador del plasminógeno *(Firman, 2000)*.

#### **1.1.3.8 Modificaciones en el medio interno**

##### **1.1.3.8.1 Regulación del líquido corporal**

El agua corporal total (ACT) está determinada por el equilibrio entre el agua que ingresa y la que se pierde (equilibrio hídrico). Factores importantes en la regulación del equilibrio hídrico son la ingestión de agua (controlada por la sensación de sed) y la excreción de orina (controlada por la hormona antidiurética, ADH) *(Firman, 2000)*.

La deshidratación durante el ejercicio debido al incremento de la presión sanguínea en los capilares del músculo y de la presión sistólica y por la transpiración excesiva, la pérdida de agua contribuirá a producir hemoconcentración, la cual se puede equilibrar mediante la disminución de la excreción renal y/o por el incremento en la ingestión de agua *(Firman, 2000)*.

La deshidratación se manifiesta mediante una elevación de la temperatura central, de la frecuencia del pulso, así como de agotamiento precoz. Para evitar la

deshidratación, se debe procurar la reposición de líquidos bebiendo una solución de agua con sal al 0.1%, ya que el cuerpo no retiene el agua si ésta no se acompaña con sal (*Firman, 2000*).

#### **1.1.3.8.2 Función renal durante el ejercicio**

El flujo sanguíneo renal (FSR) es menor durante el ejercicio y hasta una hora después (por respuesta cardiovascular), y esta disminución está relacionada con la intensidad del ejercicio y el agotamiento producido (*Firman, 2000*).

La excreción renal se disminuye durante el ejercicio debido al incremento de la ADH (producida por estrés y en respuesta al incremento de la transpiración). El resultado de éste incremento de ADH es la disminución en la producción de la orina, ya sea por disminución del filtrado glomerular o por una mayor resorción tubular (*Firman, 2000*).

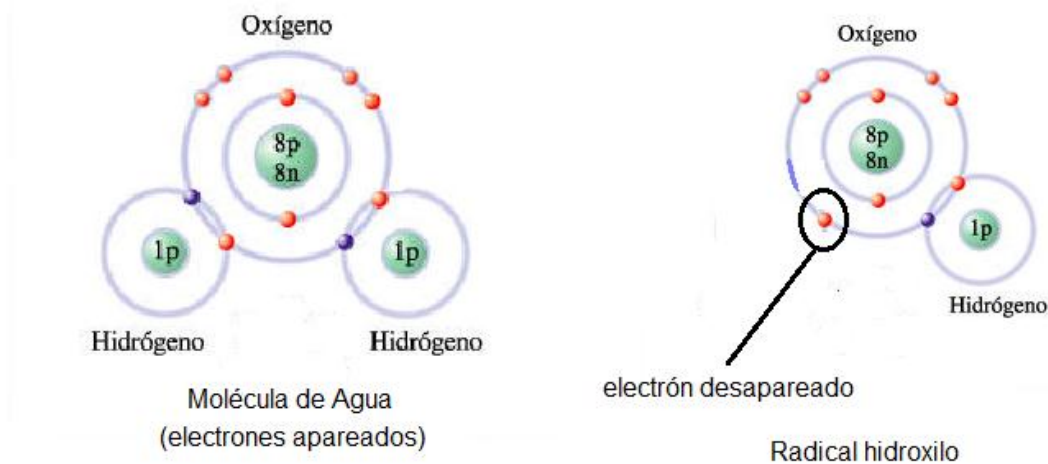
### **1.1.4 METABOLISMO AERÓBICO Y ESTADO ANTIOXIDANTE**

Como resultado del metabolismo celular se forman moléculas conocidas como especies reactivas, las cuales pueden ser radicales libres y no radicales, derivadas del metabolismo del oxígeno (ERO's) y del metabolismo del nitrógeno (ERO's) principalmente (*Corrales & Muñoz Ariza, 2012*).

#### **1.1.4.1 Radicales libres**

La estabilidad de los átomos y moléculas depende del apareamiento de sus electrones, es decir, la formación de dobletes electrónicos. Un radical libre (RL), es

una especie química que en su última capa posee electrones no apareados (figura 15), son moléculas inestables y muy reactivas que tienden a unirse a otra molécula para ganar un electrón (*Marie-Thérèse Droy-Lafaix, 2000*).



**Fig. 15 Molécula de agua y radical hidroxilo (OH•)**

Los radicales libres buscan su estabilidad electrónica ya sea perdiendo un electrón (reducción) o ganando un electrón (oxidación o dismutación) como se muestra en las siguientes reacciones: (*Marie-Thérèse Droy-Lafaix, 2000*).

- 1.-  $\cdot\text{O}_2 + \text{Cu}^{++} \rightarrow \text{Cu}^+ + \text{O}_2$  (el anión superóxido reduce los iones cúpricos)
- 2.-  $\cdot\text{O}_2 + \text{Fe}^{++} \xrightarrow{2\text{H}^+} \text{H}_2\text{O}_2 + \text{Fe}^{+++}$  (el anión superóxido oxida los iones ferrosos)
- 3.-  $\cdot\text{O}_2 + \cdot\text{O}_2 \xrightarrow{2\text{H}^+} \text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_2$  (un anión superóxido se oxida y el otro se reduce)

Los mecanismos de formación de los radicales libres son siempre reacciones en cadena, pues al reaccionar un radical libre con una molécula que no es radical, se

transformará en radical. Esta serie de reacciones solo se puede detener cuando reaccionan dos radicales entre sí *(Corrales & Muñoz Ariza, 2012)*.

#### **1.1.4.1.1 Formación de radicales libres**

Como ya se ha mencionado, los radicales libres son moléculas inestables, y fácilmente reactivas por lo que son capaces de reaccionar con cualquier molécula vecina, la cual, después de la reacción, puede convertirse en radical libre ó en una molécula estable. La reducción parcial del oxígeno (el cual proviene del último producto de la cadena de transporte de electrones) genera radicales libres conocidos como especies reactivas de oxígeno (ERO's) *(Corrales & Muñoz Ariza, 2012; Marie-Thérèse Droy-Lafaix, 2000)*.

**Anión superóxido  $\cdot O_2^{\bullet}$ :** Se forma cuando el oxígeno molecular sufre una reducción monovalente. Es el más abundante a nivel celular, puede sufrir una reacción de dismutación y dar origen al peróxido de hidrógeno. Entre las sustancias que se oxidan dando origen a este radical se encuentran hemoglobina, mioglobina, catecolaminas, xantina oxidasa y NADPH oxidasa *(Corrales & Muñoz Ariza, 2012; Marie-Thérèse Droy-Lafaix, 2000)*.

**Peróxido de hidrógeno  $H_2O_2$ :** No es un radical libre, pero es una molécula reactiva e inestable importante a nivel celular. Su formación es secundaria a la dismutación del anión superóxido (catalizada por la enzima SOD en la matriz mitocondrial), o por la reducción bivalente de oxígeno molecular (auto oxidación del citocromo p450 en el retículo endoplásmico), o en los peroxisomas. El peróxido



de hidrógeno, en presencia de iones ferrosos se descompone dando origen al radical hidroxilo  $\text{OH}^\bullet$  (Corrales & Muñoz Ariza, 2012; Marie-Thérèse Droy-Lafaix, 2000).

**Radical hidroxilo  $\text{OH}^\bullet$ :** Se origina por la descomposición del peróxido de hidrógeno (reacción de Fenton), es el más peligroso a nivel celular, ya que no existe ningún sistema antioxidante para este radical (Corrales & Muñoz Ariza, 2012; Marie-Thérèse Droy-Lafaix, 2000).

**Radicales alcoxi  $\text{RO}^\bullet$  y peroxi  $\text{ROO}^\bullet$ :** Estos radicales se generan por acción de un radical libre de oxígeno (peróxido o hidroxilo), sobre las cadenas de AG poliinsaturados. Estos radicales son base para el proceso de lipoperoxidación de membranas celulares (Marie-Thérèse Droy-Lafaix, 2000).

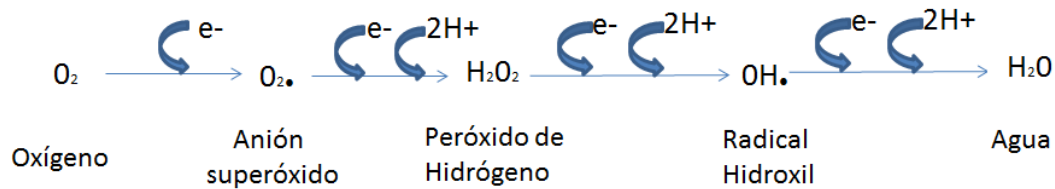
#### **1.1.4.1.2 Fuentes fisiológicas de radicales libres**

En la materia viva, constantemente se producen radicales libres (ERO's), esta producción está asociada al metabolismo celular del oxígeno, así como a las reacciones de oxido-reducción que se llevan a cabo dentro de la célula (Marie-Thérèse Droy-Lafaix, 2000).

**La cadena respiratoria mitocondrial**, es una de las fuentes principales de ERO's ya que durante las reacciones, se lleva a cabo la reducción del oxígeno hasta formar agua. Durante este proceso un 2-5% de las moléculas de oxígeno sufren una reducción monovalente producida por la NADPH oxidasa, formándose

entonces aniones superóxido  $O_2^{\bullet-}$ , que por dismutación forman  $H_2O_2$  (Figura 16)

(Corrales & Muñoz Ariza, 2012; Marie-Thérèse Droy-Lafaix, 2000; Murray RK, 2010).



**Fig. 16 Formación de especies reactivas de oxígeno (ERO's)**

Los neutrófilos consumen poco oxígeno, pero cuando hay una estimulación de ellos debido a la presencia de partículas fagocitables, éste consumo de oxígeno se acelera activándose la enzima NADPH-oxidasa de la membrana. Esta enzima, cataliza la reducción del oxígeno convirtiéndolo en  $O_2^{\bullet-}$ , que por dismutación forma  $H_2O_2$ . Ambos radicales, participan en la formación de otras especies reactivas como el  $OH^{\bullet}$  y gracias a la enzima mieloperoxidasa participan también en la liberación de hipoclorito y cloraminas.  $HO_2^{\bullet}$  y  $H_2O_2$ . así como el hipoclorito y las cloraminas son los encargados de la destrucción del material fagocitado (Corrales & Muñoz Ariza, 2012; Marie-Thérèse Droy-Lafaix, 2000).

**Las reacciones oxidativas de desintoxicación** (mediadas por oxidasas contenidas en los peroxisomas) que se llevan a cabo en los organelos celulares son productoras de radicales libres, al igual que las reacciones mediadas por las enzimas del citocromo p450 (participantes en el metabolismo oxidativo de xenobioticos). Algunos xenóbioticos, al ser metabolizados, se convierten en

intermediarios reactivos de la peroxidación lipídica, causando daño en el DNA y en la membrana microsomal (*Corrales & Muñoz Ariza, 2012; Marie-Thérèse Droy-Lafaix, 2000*).

Existen también fuentes exógenas de radicales libres, entre ellas encontramos la exposición a los rayos X, al ozono, al tabaco, contaminantes del aire, productos químicos, medicamentos, dieta, procesos inflamatorios, ***ejercicio intenso***, etc. (Tabla 2) (*Corrales & Muñoz Ariza, 2012; Marie-Thérèse Droy-Lafaix, 2000*).

#### **1.1.4.1.3 Efectos nocivos de las ERO's**

El daño producido por las ERO's ocurre principalmente en tres macromoléculas, lípidos, proteínas y DNA (*Gutiérrez, 2002*).

En los lípidos ocurre la peroxidación, la cual afecta las estructuras celulares cuya composición incluye AGpoli-insaturados, como es la membrana celular; dicha peroxidación altera la permeabilidad de la membrana y produce por consiguiente muerte celular (*Gutiérrez, 2002*). Los peróxidos de los lípidos se convierten posteriormente en di-aldehídos reactivos que pueden dañar proteínas y DNA (*Murray RK, 2010*).

Contaminantes	Fibras de asbesto
	Polvo de minerales
	Ozono
	Monóxido de carbono
	Oxido Nítrico y Dióxido de Nitrógeno
	Silice
	Solventes
	Toxinas
	Hipocloritos
	Dioxido de sulfuro
	Bifenilos policlorados
	Paracuat y Dicuat
Drogas	Acetaminofeno
	Ciprofloxacino
	Antidepresivos Triciclicos
	Nitrofurantoínas
	Antidiabéticos
	Bleomicina
	Doxorubicina
Iones metálicos	Hierro
	Cobre
	Cadmio
	Níquel
	Cromo
Radiaciones	Mercurio
	Ultravioleta
	Rayos X
Dieta	Gamma
	Ácidos grasos poliinsaturados
Otros	Glucosa
	Tabaco
	Ejercicio Intenso

Tabla 2. Principales factores externos que incrementan la producción de especies reactivas de oxígeno (ERO's). Citada en *(Corrales & Muñoz Ariza, 2012)*

Entre las reacciones que sufren las proteínas están la oxidación de aminoácidos, (especialmente aquellos que tienen grupos sulfhidrilo), el entrecruzamiento de cadenas peptídicas y la formación de grupos carbonilo, trayendo como consecuencia el cambio estructural y/o funcional de las proteínas impidiendo así

que éstas realicen sus funciones de forma adecuada (*Gutiérrez, 2002; Marie-Thérèse Droy-Lafaix, 2000*).

En el ADN ocurre la ruptura de las uniones entre las bases púricas y pirimídicas trayendo como consecuencia mutaciones, pérdida de expresión y/o síntesis de proteínas, activación y/o desactivación de genes (*Gutiérrez, 2002; Marie-Thérèse Droy-Lafaix, 2000*).

#### **1.1.4.1.4 ERO's y ejercicio**

Durante el ejercicio, el metabolismo celular se incrementa y con ello también la formación de ERO's y ERO's, las cuales favorecen la fatiga muscular y deben ser contrarrestados por mecanismos antioxidantes, endógenos y en algunos casos complementados con el uso de antioxidantes exógenos para así evitar el daño celular ocasionado al entrar en un estado de estrés oxidativo (*Kalafati et al., 2010*)

#### **1.1.4.2 Estrés oxidativo y sistema de defensa antioxidante**

Como ya se ha comentado, el oxígeno es imprescindible para la vida, pero también es origen de especies reactivas que, si bien, en ciertas cantidades son útiles en el metabolismo celular, sin embargo, si éstas se acumulan y no son neutralizadas, tienen efectos nocivos para la célula, por lo que es importante comprender que para evitar ese daño celular debe existir un equilibrio entre las especies reactivas existentes y los mecanismos para neutralizarlas (*Mayor-Oxilia, 2010*).

El estrés oxidativo existe cuando se rompe el equilibrio que debe existir entre las moléculas pro-oxidante y los mecanismos antioxidantes. Este desequilibrio puede darse ya sea por un incremento en la producción de especies reactivas, por déficit en el mecanismo antioxidante o la combinación de ambas (figura 17) *(Gutiérrez, 2002; Mayor-Oxilia, 2010)*.



**Fig. 17 Representación del estrés oxidativo**

El organismo posee un mecanismo de defensa cuya función es contrarrestar la producción (endógena y exógena) de especies reactivas, este mecanismo se conoce como “sistema de defensa antioxidante” el cual está constituido por dos líneas principales *(Gutiérrez, 2002; Mayor-Oxilia, 2010)*.

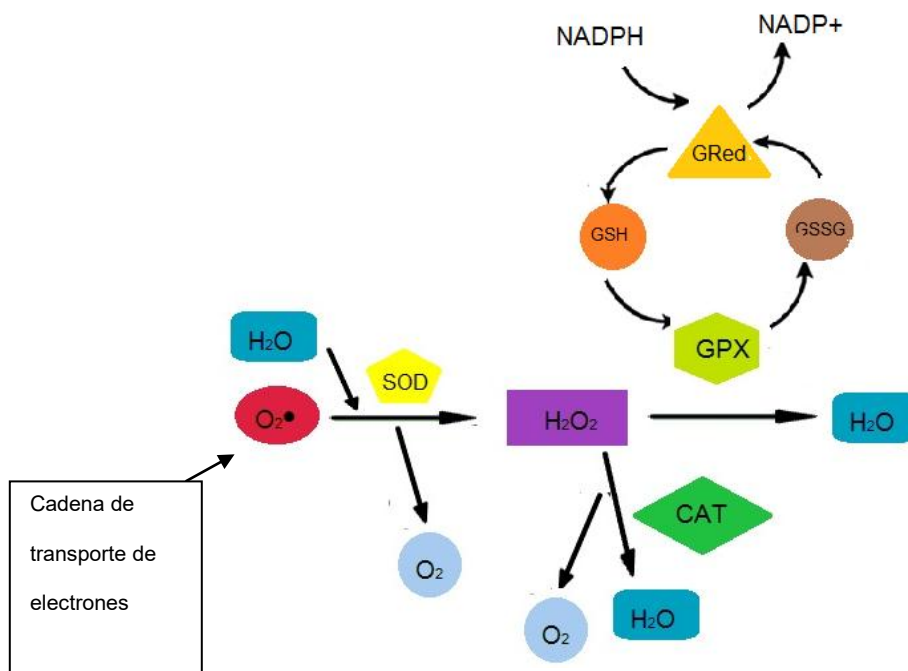
#### **1.1.4.2.1 Primera línea de defensa antioxidante**

Constituido por enzimas con actividad antioxidante, entre las que encontramos a la superóxido dismutasa (SOD), Catalasa (CAT) y Glutación peroxidasa (GPX)(figura 18) *(Corrales & Muñoz Ariza, 2012; Gutiérrez, 2002; Mayor-Oxilia, 2010).*

**Superóxido dismutasa (SOD):** Enzima que tiene cuatro isoformas, un homodímero con  $\text{Cu}^{+1}$  y  $\text{Zn}^{+1}$  que se encuentra en citoplasma, un tetrámero que contiene  $\text{Mn}^{+2}$  y se encuentra en matriz mitocondrial, tetrámero que contiene  $\text{Cu}^{+1}$ ,  $\text{Zn}^{+1}$  y un péptido señalizador que la dirige al espacio extracelular, y una que contiene hierro y se encuentra en algas, bacterias y vegetales. La SOD cataliza la reacción de dismutación del  $\text{O}_2^\bullet$  en  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Su actividad está acoplada a otras enzimas para evitar la acumulación de peróxido de hidrógeno  $\text{H}_2\text{O}_2$  *(Corrales & Muñoz Ariza, 2012; Gutiérrez, 2002; Marie-Thérèse Droy-Lafaix, 2000).*

**Catalasa (CAT):** Esta enzima (hemoproteína) se encuentra dentro de los peroxisomas, cataliza la reacción de dismutación del peróxido de hidrógeno  $\text{H}_2\text{O}_2$  en agua y oxígeno molecular *(Corrales & Muñoz Ariza, 2012; Gutiérrez, 2002; Marie-Thérèse Droy-Lafaix, 2000).*

**Glutación Peroxidasa (GPX):** Es una selenoproteína que se encuentra en el citosol y en la mitocondria; en presencia de glutación reducido convierte al peróxido de hidrógeno  $\text{H}_2\text{O}_2$  en agua, y los hidroperóxidos en agua y alcohol *(Corrales & Muñoz Ariza, 2012; Gutiérrez, 2002; Marie-Thérèse Droy-Lafaix, 2000).*



**Fig. 18 Sistema de defensa antioxidante. Primera línea**

#### **1.1.4.2.2 Segunda línea de defensa antioxidante**

En ésta línea están incluidas moléculas o metabolitos no enzimáticos como el glutatión, las vitaminas A, C y E (*Marie-Thérèse Droy-Lafaix, 2000; Mayor-Oxilia, 2010*).

**Glutatión:** Es un tripéptido de bajo peso molecular que actúa sobre el  $H_2O_2$ , el ión  $O_2^{\bullet-}$  y el radical  $OH^{\bullet}$  (*Corrales & Muñoz Ariza, 2012*).



**AcidoAscórbico (vitamina C):** Lo encontramos dentro y fuera de la célula, neutraliza el oxígeno singulete, capta  $\text{OH}^\bullet$  y algunos hidroperóxidos, *(Corrales & Muñoz Ariza, 2012; Mayor-Oxilia, 2010)*.

**Alfa-Tocoferol (vitamina E):** Se localiza en la membrana, capta los radicales tipo  $\text{ROO}^\bullet$  que se forman en la lipoperoxidación de los AG de la membrana, neutraliza el oxígeno singulete, captura  $\text{OH}^\bullet$  y  $\text{O}_2^\bullet$  *(Marie-Thérèse Droy-Lafaix, 2000; Mayor-Oxilia, 2010)*.

**Vitamina A:** Neutraliza el oxígeno singulete *(Mayor-Oxilia, 2010)*

#### **1.1.4.2.3 Oligoelementos**

En el sistema antioxidante, son importantes algunos oligoelementos que forman parte del núcleo activo de las enzimas antioxidantes. Entre ellos encontramos al  $\text{Cu}^{+1}$ ,  $\text{Zn}^{+1}$ ,  $\text{Mn}^{+2}$ ,  $\text{Fe}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  y Se *(Mayor-Oxilia, 2010)*.

## **1.2 RENDIMIENTO FÍSICO Y SU EVALUACIÓN**

En 1979 Roland Renson representó el concepto de condición física mediante un triángulo en cuyos vértices ubica sus tres dimensiones principales: orgánica, motriz y cultural. La dimensión orgánica se refiere a la producción de energía y al rendimiento. La dimensión motriz se refiere a las capacidades para el control del movimiento, e incluye tres componentes básicos que son fuerza, resistencia y velocidad. Finalmente la dimensión cultural que se refiere a situaciones que tienen

influencia en la condición física como pueden ser la posibilidad de acceder a centros deportivos, el modo de vida, etc. *(García Manso J.M., 1996)*.

En este trabajo nos centramos en la evaluación de algunos componentes de las dimensiones orgánica y motriz, por lo que a continuación se mencionan únicamente aspectos relacionados a éstos.

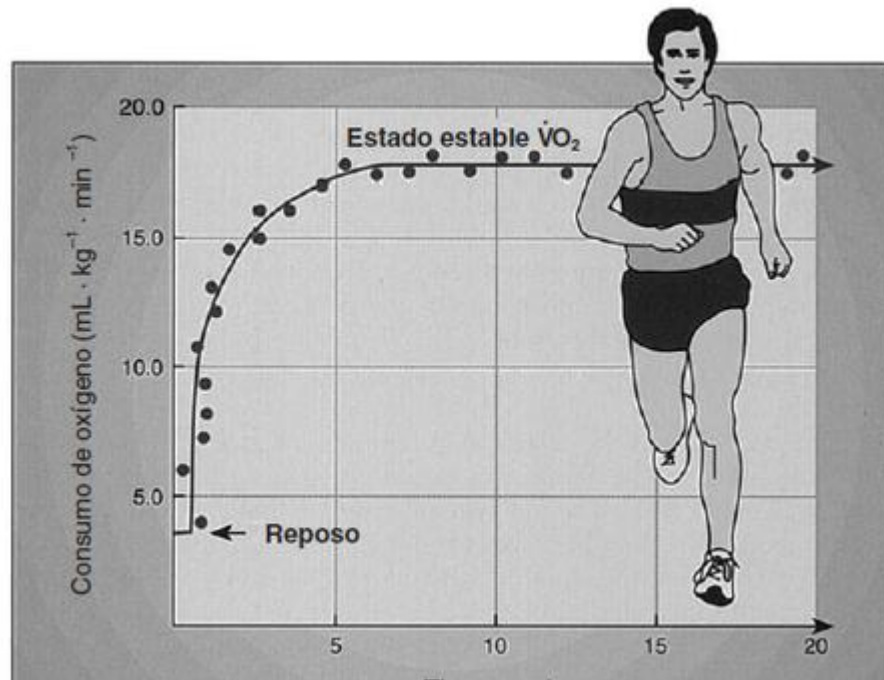
## **1.2.1 EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA**

La resistencia es la capacidad que posee un sujeto para soportar la fatiga, y está determinada por la relación entre la obtención (capacidad) y la utilización de energía (potencia) durante la actividad física. Por la relación existente entre la resistencia y la fatiga es importante considerar también la capacidad de recuperación del organismo *(García Manso J.M., 1996; Urdampilleta Aritz, 2012)*.

### **1.2.1.1 Evaluación de la resistencia aeróbica**

En los procesos aeróbicos, la resistencia se evalúa en función del consumo de oxígeno, puesto que entre mayor sea éste, mayor es la producción de energía por la VA. Al inicio del ejercicio, el consumo de oxígeno se incrementa de manera lenta, y mientras se logra el ajuste del SAO (estado estable). Razón por la cual en los primeros minutos existe un déficit de oxígeno; cuando el SAO se adapta, se logra un equilibrio entre el consumo de oxígeno y la aportación a nivel celular del

mismo, lográndose un estado estable de todos los sistemas fisiológicos ( figura 19)  
(*Peri-Olof Astrand, 2010*).



**Fig. 19 Representación gráfica del consumo de oxígeno hasta alcanzar el estado estable (*McArdle, 2004*).**

El Colegio de Medicina del Deporte (1991) utiliza el término resistencia cardiorrespiratoria, para definir la resistencia aeróbica, como la capacidad de realizar un ejercicio con la activación de grandes grupos musculares a intensidad moderada o alta, durante un prolongado espacio de tiempo” (*García Manso J.M., 1996*).

El  $VO_{2max}$  o potencia aeróbica máxima es la máxima cantidad de oxígeno que el organismo capta, transporta y consume durante el ejercicio en el que participan grandes grupos musculares (*Chauvet Ferrero, 2004; García Manso J.M., 1996; Perl-Olof Astrand, 2010*).

El  $VO_{2max}$  medido durante el ejercicio nos provee de información con respecto a la capacidad del SAO y de la utilización de oxígeno en los músculos, y se expresa en términos absolutos ( $L \cdot \text{min}^{-1}$ ) o relativos ( $\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ). La expresión en términos relativos se utiliza para evaluar el grado de acondicionamiento aeróbico independientemente del peso corporal, mientras que el absoluto está directamente relacionado con el tamaño corporal (*Heyward, 2008*).

Otra medida de la cantidad de energía utilizada durante el ejercicio y por lo tanto de la resistencia aeróbica es la Razón de Intercambio Respiratorio (RIR), que corresponde a la relación entre la producción de  $\text{CO}_2$  y la utilización de  $\text{O}_2$  ( $V\text{CO}_2/V\text{O}_2$ ). La RIR provee información de cuál es el combustible preferentemente utilizado para la obtención de energía cuando se realiza la actividad a una intensidad constante, tal como se muestra en la tabla 3, la proporción de grasas es mayor si RIR está por debajo de 1. Entre más cercano a 1 mayor es la proporción de carbohidratos utilizados. Cuando el RIR es igual o mayor que 1.0 también puede ser un indicador de acumulación de lactato en la sangre, debido a la formación de  $\text{CO}_2$  a partir del ácido carbónico de la sangre

para lograr el equilibrio ácido-base (*Ramos-Jimenez et al., 2008; Wilmore & Costill, 2004*).

Relación de intercambio respiratorio	Energía	% kcal	
	kcal/l O <sub>2</sub>	Hidratos de carbono	Grasas
0,71	4,69	0	100,0
0,75	4,74	15,6	84,4
0,80	4,80	33,4	66,6
0,85	4,86	50,7	49,3
0,90	4,92	67,5	32,5
0,95	4,99	84,0	16,0
1,00	5,05	100,0	0

Tabla 3 Relación del intercambio respiratorio con el % kcal provisto por cada combustible utilizado. Citada en (*Wilmore & Costill, 2004*)

Para evaluar el SAO en el laboratorio, se utilizan las pruebas de esfuerzo. La prueba de esfuerzo consiste en una prueba progresiva con varios estadios, es decir, durante la prueba se va incrementando gradualmente la carga, manteniendo cada carga durante un determinado lapso (por lo general 3 min) dependiendo del protocolo que se siga. Las pruebas progresivas miden el  $VO_{2max}$  cuando se alcanza la meseta del consumo de oxígeno, Algunos criterios utilizados para determinar que se ha alcanzado el estado estable son que el consumo de oxígeno no se incrementa más de  $150 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$  en la última etapa, aunque se incremente la carga, la FC se mantiene constante aún cuando la intensidad del ejercicio se

incremente, las concentraciones de lactato en sangre son mayores a 8 mmol/L, la RIR es mayor de 1.15 (Heyward, 2008).

Por seguridad y de manera protocolaria, antes de la prueba de esfuerzo progresiva se miden y registran la presión sanguínea, FCy se realiza una electrocardiografía(ECG) de 12 derivaciones. Durante el ejercicio igualmente se toma un ECG dinámico y se registran los últimos 15 segundos de cada estadio de la prueba. La FC y la presión sanguínea durante el ejercicio se miden y registran durante los últimos 45 segundos de cada estadio. Debe registrarse también la escala de esfuerzo percibido (figura 20).Al finalizar la prueba se debe registrar el ECG de los últimos 15 segundos de la prueba y los primeros del tiempo de recuperación. La FC se registra durante los últimos 5 segundos de cada minuto de recuperación, y la presión sanguínea inmediatamente después de terminar la prueba y cada dos minutos durante la recuperación (Heyward, 2008).

Existen distintos protocolos de pruebas de esfuerzo, que tienen la finalidad de evaluar la capacidad aeróbica. Los más empleados son en banda sin fin y bicicleta estática. Las pruebas de esfuerzo pueden ser continuas o discontinuas. Una prueba continua es aquella que se realiza sin periodos de descanso entre cada estadio de la prueba, los incrementos de intensidad son de entre 2 y 3 METs (dependiendo del protocolo específico) por cada estadio, los cuales tienen una duración de 2 a 3 min; en total éstas pruebas suelen durar de 8 a 12 min. Las pruebas continuas en banda sin fin son las más utilizadas. En las pruebas

discontinuas, hay periodos de descanso de entre 5 y 10 min entre cada estadio, con aumentos progresivos de la carga en cada estadio (Heyward, 2008).

ESCALA DE PERCEPCIÓN DE FATIGA BORG	
6	
7	EXTREMADAMENTE LIGERO
8	
9	MUY LIGERO
10	
11	LIGERO
12	
13	ALGO DURO
14	
15	DURO
16	
17	MUY DURO
18	
19	EXTREMADAMENTE DURO
20	MÁXIMO ESFUERZO

**Fig. 20 Escala de percepción de fatiga de Borg**

#### **1.2.1.1.1 Pruebas de esfuerzo máximas en banda sin fin**

Estas pruebas se realizan en una banda sin fin de velocidad e inclinación variable. La velocidad que se puede alcanzar en la banda es hasta 45 km/h ( $12.5 \text{ m/s}^{-1}$ ), la inclinación se expresa en porcentaje. Durante la prueba se pueden incrementar cada una por separado o ambas, dependiendo del protocolo (Heyward, 2008).

El Colegio Americano de Medicina del deporte (ACSM por sus siglas en inglés) formuló ecuaciones para estimar el  $\text{VO}_2$  en estas pruebas. En la figura 21 se

muestra la fórmula para una prueba en tapiz rodante a velocidades entre 80 y 134 m.min<sup>-1</sup> (Heyward, 2008).

$$VO_2 \text{ (mL . kg-1 . min-1)} = (0.2 . V) + (0.9 . V . G) + 3.5 \text{ mL . kg-1.min-1}$$

Donde: V= velocidad (m.min<sup>-1</sup>), G= % inclinación

**Fig. 21 Ecuación para calcular VO<sub>2</sub>corriendo en una prueba de tapiz rodante según la ACSM (Heyward, 2008).**

Entre los protocolos más conocidos para tapiz rodante está el protocolo de Bruce, el cual consiste en una prueba de intensidad constante hasta el agotamiento en el que se modifican de manera combinada intensidad e inclinación. La prueba inicia caminando a 45.5 m.min<sup>-1</sup> con una inclinación del 10% durante 3 min, en el segundo estadio se incrementa la inclinación en un 2% y la velocidad hasta 67 m.min<sup>-1</sup> y así para cada estadio siguiente la prueba incrementa la inclinación en un 2% y la velocidad de 21.4 a 24.1 m.min<sup>-1</sup> hasta el agotamiento. Las ecuaciones para calcular el VO<sub>2max</sub> en varones con este protocolo se muestran en la figura 22.

$$VO_{2max} = 14.76 - 1.379 . T + 0.451 T^2 - 0.012 T^3$$

Donde: T= tiempo total de la prueba

**Fig. 22 Ecuación para calcular VO<sub>2max</sub> con el protocolo de Bruce en tapiz rodante (Heyward, 2008)**

El protocolo de Bruce modificado, es similar al protocolo de Bruce, excepto en los dos primeros estadios. El estadio 1 comienza en 0% y 45.5 m.min<sup>-1</sup>, en el estadio



2, la inclinación aumenta hasta el 5%. Para el cálculo del  $VO_2$  con este protocolo se debe utilizar la ecuación de ACSM para caminata, la cual se muestra en la figura 23.

$$VO_2 (\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}) = (0.1 \cdot V) + (1.8 \cdot V \cdot G) + 3.5 (\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1})$$

Donde: V= velocidad ( $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ ), G= % inclinación

**Fig. 23 Ecuación para calcular  $VO_2$  caminando en una prueba de tapiz rodante según la ACSM (Heyward, 2008).**

#### **1.2.1.2 Evaluación de la resistencia anaeróbica**

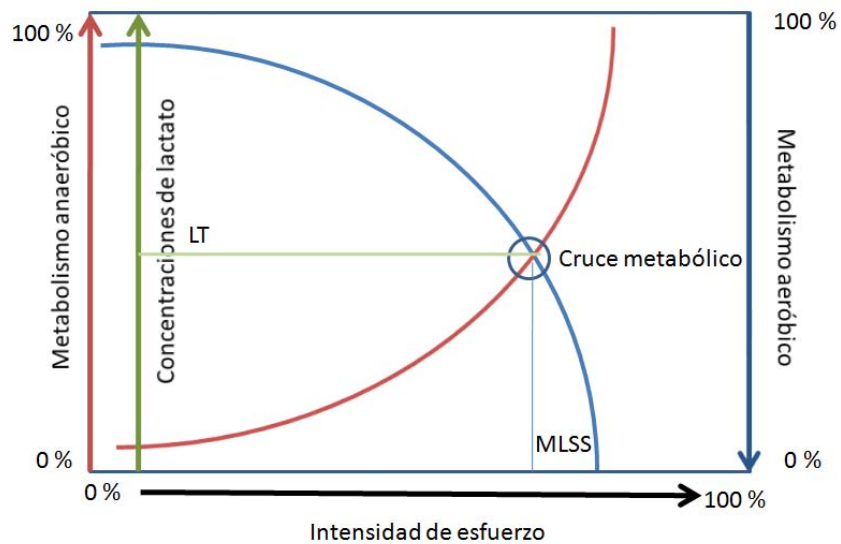
La lactacidemia refleja la diferencia entre la velocidad en que aparece el lactato y la velocidad en que se elimina. Es un indicador de que la producción de ATP se lleva a cabo por la VAL, a mayor intensidad de ejercicio, mayor producción de lactato (Perl-Olof Astrand, 2010).

El umbral anaeróbico o umbral de lactato (LT por sus siglas en inglés LactateTheshold), es el punto donde el ácido láctico comienza a acumularse en el músculo y se hace imposible una actividad prolongada, en este punto, el lactato en sangre comienza a aumentar rápidamente. Una manera para determinar el umbral anaeróbico es determinar las concentraciones plasmáticas de lactato, y encontrar

el punto de inflexión (*Coulson, 2004; Chauvet Ferrero, 2004; García Manso J.M., 1996; Perl-Olof Astrand, 2010; Wilmore & Costill, 2004*)

El umbral de lactato también se expresa en función del % de  $VO_{2max}$  en el que se empieza a acumular el lactato en sangre. Realizar actividad física a una intensidad elevada sin llegar al umbral de lactato es un indicativo de buena resistencia aeróbica, pues la transición (cruce metabólico) trae como consecuencia la acumulación de lactato, y este es un factor que lleva a la fatiga rápidamente. La carga de trabajo en la que se lleva a cabo el cruce metabólico corresponde al máximo % de intensidad de esfuerzo en que es posible mantener estable las concentraciones de lactato; a dicha intensidad de esfuerzo se le conoce como máximo estado estable de lactato (MLSS por sus siglas en inglés) (figura 24) (*Imaz, 2013; Wilmore & Costill, 2004*).

La producción de lactato en el músculo dependerá entonces de la vía de SAO que cada fibra muscular utilice para producir energía, de ahí que, a mayor utilización de la VAL, mayor producción de lactato y por lo tanto menor resistencia (*Imaz, 2013*).



Rojo: % de uso de metabolismo anaeróbico (VAL). Azul: % de uso de metabolismo aeróbico (VA) . Verde: Concentración de lactato

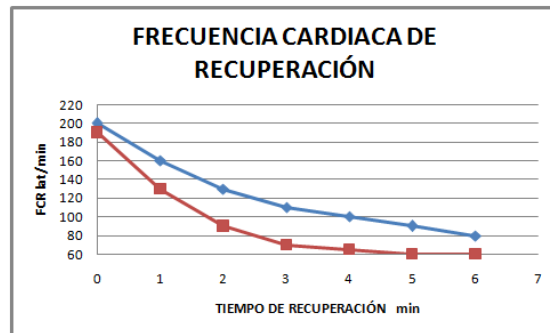
**Fig. 24 Esquema de conceptos de cruce metabólico, máximo estado estable de lactato (MLSS) y umbral de lactato (LT)**

## 1.2.2 EVALUACIÓN DE LA RECUPERACIÓN

Otro parámetro relacionado con el SAO es la frecuencia cardíaca (FC) es decir el número de contracciones (sístoles) del corazón en un minuto. Esta se incrementa en forma lineal al aumentar el consumo de oxígeno, lo cual, como ya se ha comentado, está íntimamente relacionado con un incremento del nivel de esfuerzo. La Frecuencia Cardíaca de Recuperación (FCR) es un indicativo de la capacidad de recuperación (*García Manso J.M., 1996*).

La FCR se caracteriza por tener una disminución muy rápida al inicio periodo post-esfuerzo, y posteriormente, continúa el descenso de una forma continua más

lenta. Esta disminución por lo regular se comporta bajo un modelo logarítmico o exponencial (figura 25) (F. J. Calderón et al., 2009; F. J. Calderón, Cruz, E., Montoya, J.; Jesús Álvarez-Herms, 2012).



Rojo: sujetos entrenados, azul: sujetos no entrenados

**Fig. 25 Gráfico de frecuencia cardiaca de recuperación (FCR)**

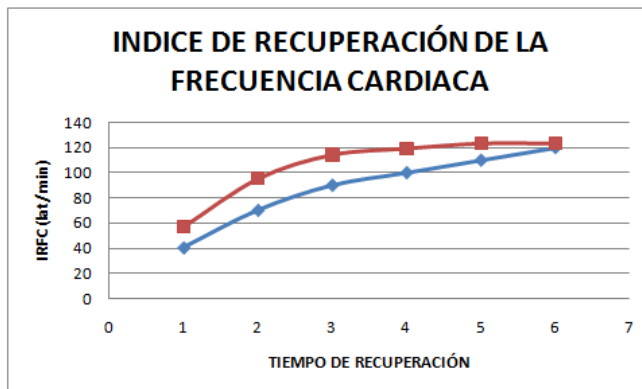
Existe una relación directa entre la disminución de la FCR en el primer minuto y la adaptación del SAO. Para valorar la FCR se utiliza el índice de recuperación de la frecuencia cardiaca (IRFC), el cual se calcula con la fórmula de Lamiel-Luengo (figura 26) (F. J. Calderón et al., 2009; F. J. Calderón, Cruz, E., Montoya, J.; Jesús Álvarez-Herms, 2012).

$$IRFC = \frac{FC_{ma} - FC_t}{FC_{mt} / FC_{ma}}$$

FC<sub>ma</sub> Frecuencia cardiaca máxima alcanzada, FC<sub>t</sub> Frecuencia cardiaca en el minuto respectivo, FC<sub>mt</sub> Frecuencia cardiaca máxima teórica

**Fig. 26 Fórmula para calcular el índice de recuperación de la frecuencia cardiaca (IRFC)**

A mayor índice de recuperación mejor adaptación cardiovascular, en la figura 27, podemos observar la gráfica de los IRFC de dos sujetos con distinto nivel de entrenamiento (F. J. Calderón, Cruz, E., Montoya, J.; Jesús Álvarez-Herms, 2012).



Rojo: sujeto más entrenado azul: sujeto menos entrenado

**Fig. 27 Gráfico de índice de recuperación de la frecuencia cardiaca de dos sujetos con distinto nivel de entrenamiento.**

### 1.3 NATACIÓN

Se dice que la natación es el deporte más completo, esto se debe a que se trata de un deporte que pone en ejecución a prácticamente todos los grupos musculares.

La natación es un deporte olímpico (desde 1896) reglamentado cuyo objetivo es desplazarse de la forma más rápida posible en el agua utilizando las fuerzas de

impulso proporcionadas por el movimiento de las extremidades superiores e inferiores (*Saavedra, 2003*).

En la natación se compite bajo cuatro estilos, crawl, espalda (dorso), mariposa y braza (pecho), los cuales tienen permitidos distintos movimientos de las extremidades para conseguir el desplazamiento. Para cada uno de los estilos existen tres categorías, que son velocidad (hasta 200 m), medio fondo (300 a 500 m) y fondo (2000 a 5000 m). El entrenamiento debe ser distinto para cada categoría, pues las primeras tienen un componente predominantemente anaeróbico, mientras que las últimas son predominantemente aeróbicas (*Cuesta Salvador, 2010; Kohji Wa Ka Yoshi, 1993; Saavedra, 2003*).

### **1.3.1 CARACTERÍSTICAS ANTROPOMÉTRICAS DE LOS NADADORES**

La antropometría es el estudio de la composición, forma y proporción del cuerpo humano, por medio de ella es posible evaluar el desarrollo, rendimiento y nutrición de un deportista (*Téllez et al., 2002*).

La técnica antropométrica permite conocer el somatotipo, la composición corporal y la proporcionalidad de las diferentes partes del cuerpo, a través de la medición de peso, estatura, longitudes, diámetros, perímetros y pliegues cutáneos (*Martínez-Sanz, Mielgo-Ayuso, & Urdampilleta, 2012*).

Dependiendo del deporte que realice el sujeto, existirán variaciones en sus características corporales en cuanto a tamaño, composición y forma. Los nadadores son sujetos altos, ligeros, de hombros anchos, y con extremidades largas; el somatotipo en los varones es ectomesomorfo, mientras que en las mujeres es endomesomorfo *(Martínez-Sanz et al., 2012)*.

En la natación, los factores determinantes para un mejor desempeño son la estatura, la envergadura, el peso y longitud de las extremidades. En la natación, la composición corporal es de gran importancia, sobre todo el % de masa muscular y ósea, mientras que el % de masa grasa es de menor importancia; aunque es justo la distribución de la masa grasa la que genera grandes diferencias en las características antropométricas de hombres y mujeres *(Martínez-Sanz et al., 2012)*.

### **1.3.2 PRUEBAS DE CAMPO PARA MEDIR LA CONDICIÓN FÍSICA EN LA NATACIÓN**

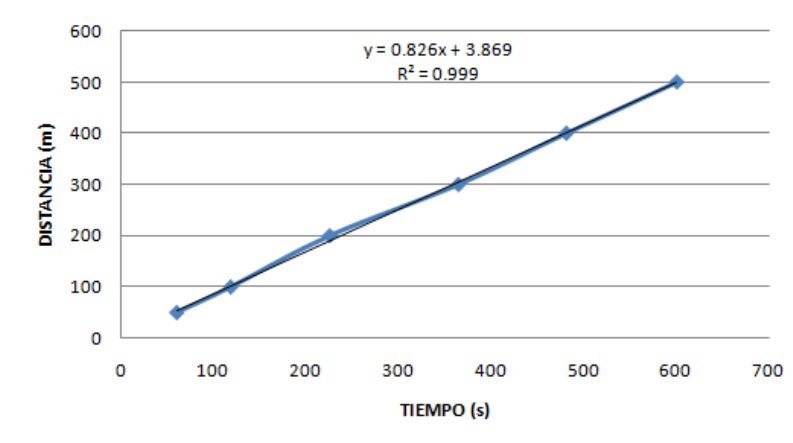
#### ***1.3.2.1 Velocidad crítica de natación (VCN)***

La VCN es la velocidad máxima de nado que puede ser mantenida de forma continua sin llegar al agotamiento *(Coulson, 2004; Kohji Wa Ka Yoshi, 1993)*.

La VCN es una prueba que provee información de la capacidad aeróbica del nadador, pero con la ventaja de no requerir ningún equipo especial para realizarla (salvo un cronómetro) y se realiza en el mismo sitio de entrenamiento, lo que

facilita a los entrenadores el control del mejoramiento de las capacidades y el ajuste de las actividades de entrenamiento (Coulson, 2004; Kohji Wa Ka Yoshi, 1993).

Para el cálculo de la VCN existen protocolos, entre ellos el de Wakayoshi (1992) y el de Ginn (1993). El protocolo de Wakayoshi utiliza distintas mediciones de distancia y tiempo (realizadas en el túnel de nado), él grafica distancia vs tiempo calcula la pendiente de la recta de regresión, dicha pendiente corresponde a la VCN (figura 28). El protocolo de Ginn consiste en medir los tiempos de nado a máxima velocidad de 50 y 400 m en una alberca y calcular la VCN, utilizando la fórmula de la pendiente de una recta como se muestra en la figura 29 (Coulson, 2004; Kohji Wa Ka Yoshi, 1993).



$$VCN = 0.826 \text{ m/s}$$

**Fig. 28 Cálculo de la velocidad crítica de natación (VCN) mediante recta de regresión**



$$VCN = \frac{D2 - D1}{T2 - T1}$$

D1 y D2 corresponden a las distancias menor y mayor respectivamente, T1 y T2 corresponden a los tiempos de D1 y D2 respectivamente

**Fig. 29 Fórmula para calcular la velocidad crítica de natación (VCN) según Ginn**

### *1.3.2.2 Pruebas de velocidad (T200, T300, T400, etc.)*

Las pruebas de velocidad son la simulación de una competencia, en la cual el nadador debe recorrer una distancia específica a máxima velocidad, estas pruebas de velocidad se denominan como **Tn**, donde **T** significa tiempo en que el nadador realiza la prueba y **n**, la distancia que recorre durante la prueba, de tal manera que una prueba T300 significa que se probará el tiempo en que el nadador recorre 300 metros nadando.

## **1.4 NUTRICIÓN E HIDRATACIÓN EN EL DEPORTE**

Una buena nutrición es indispensable en todo momento. Para conocer cuántas calorías con un balance adecuado de nutrientes necesita cada atleta, dependerá del tipo de deporte así como edad, sexo, altura, peso, masa muscular, masa grasa altitud y latitud de donde realicen su ejercicio. (carbohidratos, grasas y proteínas) todos ellos en las cantidades suficientes; es decir, que proporcione los

requerimientos calóricos de cada individuo. Entre un 10 a un 15% deben ser suministrados por proteínas, 25 a 30% por grasas y 55 a 60% por carbohidratos. Seleccionando igualmente los alimentos de los diferentes grupos alimenticios, para así asegurar la ingesta de cantidades suficientes de vitaminas y minerales *(Bowers-Richard W, 1995; NORMA Oficial Mexicana NOM-008-SSA3-2010, Para el tratamiento integral del sobrepeso y la obesidad, 2010).*

Para obtener mejores resultados en una actuación deportiva, el atleta debe cuidar los alimentos que consume antes de la prueba, evitando consumir grasas y consumir mayormente carbohidratos, siendo esto hasta 2 y media horas antes de la prueba. De la misma manera debe cuidar su estado de hidratación antes, durante y después de la prueba, pudiéndolo hacer mediante el consumo de alguna bebida fresca que contenga cantidades de carbohidratos que provean entre 80 y 350 kcal/1000mL y iones sodio en un rango de 20 a 50 mmol/L *(Bowers-Richard W, 1995; NORMA Oficial Mexicana NOM-008-SSA3-2010, Para el tratamiento integral del sobrepeso y la obesidad, 2010; Palacios Gil-Antuñano, 2008).*

#### **1.4.1 SUPLEMENTACIÓN EN EL DEPORTE**

Existen estudios realizados con deportistas cuyo objetivo ha sido demostrar la necesidad de suplementos alimenticios para mejorar el rendimiento deportivo. Recientemente Pasiakos y colaboradores publicaron una revisión sobre estudios publicados con respecto a la suplementación con proteínas, y si ésta acelera la

ganancia de masa muscular y la fuerza, con esto mejorar la potencia aeróbica y anaeróbica. Encontraron que, al incrementar la duración, frecuencia y volumen del entrenamiento la suplementación con proteínas promueve la hipertrofia muscular y la ganancia de fuerza, mejorando la potencia aeróbica y anaeróbica (*Pasiakos, McLellan, & Lieberman, 2014*).

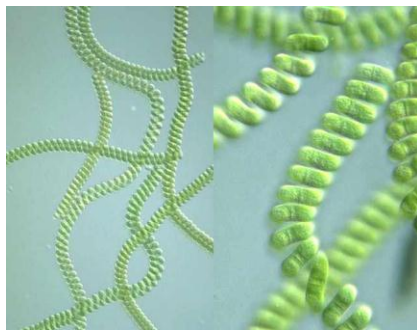
## 2. ANTECEDENTES

---

### 2.1 SPIRULINAMAXIMA

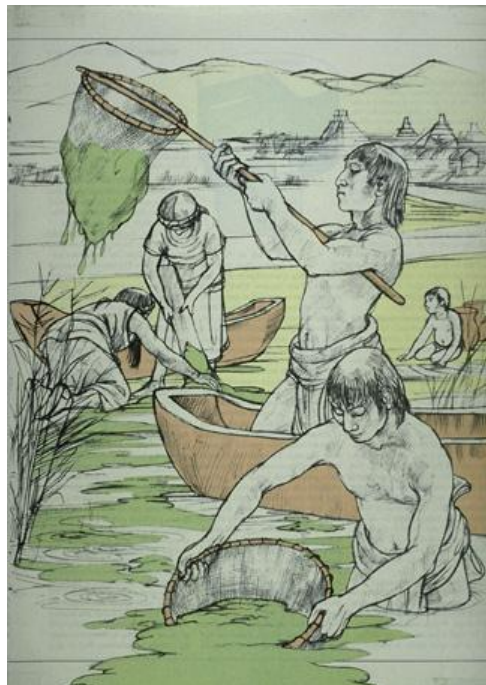
La *Spirulina maxima* es una cianobacteria de color azul-verde intenso, capaz de realizar fotosíntesis; su estructura es filamentosa de 5-10  $\mu\text{m}$  de diámetro y 200-300  $\mu\text{m}$  de longitud. Su forma es helicoidal, y presenta de 5 a 6 torsiones con un diámetro de hélice de 50-60  $\mu\text{m}$  (fig. 30). Su reproducción se lleva a cabo por bipartición, crece fácilmente en aguas alcalinas, se adapta fácilmente aún en ambientes difíciles para otros microorganismos, consume grandes cantidades de  $\text{CO}_2$ , generando más oxígeno por metro cuadrado que cualquier árbol de tamaño mediano (Luqueño-Bocard O.I., 2011; Moorhead, 2011).

La *Spirulina maxima* pertenece a la Clase *cyanophyceae*, Orden *nostocales*, Familia *oscillatoriaceae*, Género *Spirulina* ó *Arthrospira*, Especie *maxima* (Luqueño-Bocard O.I., 2011; Moorhead, 2011).



**Fig. 30** *Spirulina maxima*

Desde la antigüedad poblaciones de Mesoamérica (Aztecas) y de África (Kanembu) tuvieron conocimiento de las propiedades nutricionales de la *Spirulina*, los Aztecas de la especie *maxima*, quienes la obtenían del Lago de Texcoco, mientras que los Kanembu de la especie *platensis* obtenida del Lago Chad. Para los Aztecas, la *Spirulina* tenía un papel importante en su alimentación, ellos recolectaban la *Spirulina*, en forma de lodo color Azul al que llamaban *tecuítlatl*, lo secaban al sol y lo comían en pequeñas cantidades combinado con el maíz (fig.31) (Luqueño-Bocard O.I., 2011).



**Fig. 31** Los Aztecas y la *Spirulina maxima*

## 2.2 CARACTERÍSTICAS NUTRIMENTALES

La *Spirulina* contiene alrededor de un 60% de proteína altamente digerible, contiene todos los aminoácidos esenciales. Tiene más  $\beta$ -caroteno que cualquier otro alimento y contiene también otros pigmentos importantes como clorofila y ficocianina. Contiene ácido gamma linoléico y linoléico así como otros ácidos grasos como el palmítico y oleico. Es rica en vitaminas del complejo B, y otras vitaminas como vitamina E y vitamina K. El contenido de minerales es muy completo, pues contiene potasio, sodio, fósforo, calcio, magnesio, hierro, manganeso, zinc, cobre y cromo. La *Spirulina* también es rica en sulfolípidos y otros nutrientes (Moorhead, 2011; Ramírez-Moreno & Olvera-Ramírez, 2006).

En la Tabla 4 se muestra la composición general típica de la *Spirulina*, producida por Cyanotech Corporation. En el Anexo 1 se muestran tablas de la composición específica de *Spirulina* (Moorhead, 2011).

Composición General Spirulina	
Proteína	53 – 62 %
Carbohidratos	17 – 25 %
Lípidos	4 – 6 %
Minerales	8 – 13 %
Otros	3 – 6 %

Tabla 4 Composición general típica de *Spirulina* (Cyanotech Corporation)

## 2.3 EFECTOS BIOLÓGICOS Y TOXICIDAD

En México se han realizado diversos estudios con *Spirulinamaxima*; en la Facultad de Medicina de la UNAM, el equipo de trabajo liderado por el Dr. Marco Antonio Juárez Oropeza y la Dra. Patricia Torres Durán ha realizado diversos estudios en ratas, en los cuales han podido comprobar que la *Spirulina* tiene un efecto protector en el hígado contra el daño causado por administración de tóxicos tales como tetra cloruro de carbono, acetato de plomo, así como del daño causado por una dieta alta en fructosa, atribuyendo esta protección a los efectos antioxidantes y antidislipemiantes de la *Spirulina*. Este mismo equipo de trabajo ha realizado también estudios clínicos, en los cuales se han encontrado efectos antihiperlipémicos (reducción de la concentración de colesterol total y triacilgliceroles) y antihipertensivos (disminución del tono vascular), recuperación total de pacientes con hígado graso no alcohólico (*Germán Chamorro et al., 2002; Torres-Duran, Ferreira-Hermosillo, & Juarez-Oropeza, 2007; Torres-Duran, Ferreira-Hermosillo, Ramos-Jimenez, Hernandez-Torres, & Juarez-Oropeza, 2012*).

En el Instituto Politécnico Nacional, el equipo del Dr. Germán Chamorro Ceballos ha realizado estudios toxicológicos con diseño agudo, crónico, subcrónico y de toxicidad reproductiva de *Spirulina maxima* sin encontrar datos de toxicidad. Otros grupos de investigadores han encontrado muchos otros efectos biológicos y farmacológicos de la *Spirulina*, en estudios realizados in vitro e in vivo (*G.*

*Chamorro et al., 2002; Chamorro, Salazar, Favila, & Bourges, 1996; Germán Chamorro et al., 2002; Mojica-Villegas María Angélica, 2009; Moorhead, 2011).*

El Comité Experto para la Información de Suplementos Dietéticos (DSI-EC) (Dietary Supplements Information Expert Committee) y La Farmacopea de los Estados Unidos (USP), documento oficial, pública con el Formulario Nacional, nombrándose como USP-NF. Las comisiones revisan la seguridad de los medicamentos recetados y de venta libre y otros productos para el cuidado de la salud que se venden en los Estados Unidos, así como los ingredientes de suplementos dietéticos. Por lo que dictaminan y determinan si deben ser admitidos como productos de calidad, determinan también las normas a seguir por USP-NF. Con base a los dictámenes de la USP, la FDA (United States Food and Drug Administration) dictaminó que la *Spirulina maxima* cumple con los estándares de USP, llevando a cabo la evaluación de la seguridad de la *Spirulina*, donde se evaluaron ensayos clínicos en humanos y estudios en animales (más de 30 informes) relacionados con el consumo de la *Spirulina*. Con base a dicho estudio se llegó a la conclusión, de esta revisión, de asignarle una calificación de seguridad de clase “A” (de máxima seguridad) para *Spirulina maxima* y *S. platensis*, y determinada como alimento GRAS: “...Over the history of safe use of *Spirulina*, it has been generally recognized as safe (GRAS) for human consumption. Human clinical studies and animal studies over the past several decades support such notion....” (*González-Boto, 2007; Marles et al., 2011*).



## 2.4 EFECTOS SOBRE EL EJERCICIO

En un estudio realizado por Kalafati y colaboradores en varones moderadamente entrenados se encontró que la *Spirulina* indujo un incremento significativo en el tiempo de fatiga, redujo significativamente la tasa de oxidación de carbohidratos y la peroxidación lipídica inducida por el ejercicio, así como incremento en la actividad de la catalasa y la concentración de glutatión reducido; en otro estudio realizado por Torres Durán y colaboradores, se encontró que la administración de *Spirulina* en deportistas jóvenes indujo la disminución de la lipemia posprandial [\(Kalafati et al., 2010; Torres-Duran et al., 2007\)](#).

## 2.5 PRODUCCIÓN DE *SPIRULINA* PARA SUPLEMENTACIÓN ALIMENTICIA Y OTROS USOS

Uno de los principales usos de la *Spirulina* es como suplemento alimenticio, pero también es utilizado como sustituto de harina en la elaboración de pastas para sopa, botanas, salsas, golosinas, pigmentos, aditivos farmacéuticos, acuicultura etc., para lo cual se hace necesaria su producción a escala industrial [\(Ramírez-Moreno & Olvera-Ramírez, 2006\)](#).

La *Spirulina* crece en condiciones alcalinas a un pH que va de 8.5 a 10.5 y a una temperatura que va de 25°C a 35°C. El cultivo para consumo humano se lleva a cabo en medio químico controlado, rico en carbonatos, nitratos y sales. La

*Spirulina* cultivada de ésta manera se somete a un proceso de secado para luego ser utilizada en polvo o envasada en cápsulas o en tabletas (Pedraza, 1989).

En México, el uso de la *Spirulina* cayó durante la conquista y fue hasta 1967 que se comenzó a utilizar de nuevo cuando la industria Sosa Texcoco, S.A. observó el crecimiento de la especie en sus tanques de evaporación. Esta empresa comenzó a hacer investigación dirigida al aprovechamiento de la *Spirulina*, la cual fue identificada como *Spirulina maxima*, e instalaron una planta de producción en el Caracol del lago de Texcoco. Años después la planta cerró y la producción de *Spirulina* fue abandonada (Ramírez-Moreno & Olvera-Ramírez, 2006).

Para el año 2004, un grupo de investigadores mexicanos comenzaron el proyecto de rescate de la *Spirulina*, pero debido a la contaminación del lago de Texcoco no fue posible, después de continuar con las investigaciones encontraron posible retomar la producción de *Spirulina* en el desierto de Atacama en Chile, así nace Spiral Spring, una empresa dedicada a la producción a gran escala de *Spirulina* de alta calidad ("Spiral Spring AEH,").

El producto que se obtiene en la planta de Spiral Spring es un polvo fino de color verde azulado oscuro e intenso, de olor similar al de los vegetales marinos, de sabor neutro ligeramente matizado amargo-salado ("Spiral Spring AEH,").

El proceso de cultivo y cosecha de la *Spirulina* en Spiral Spring consiste en 12 fases:

- 1) **Manutención de cepas puras:** el material biológico se mantiene en condiciones de aislamiento y condiciones controladas de laboratorio.
- 2) **Cultivos de laboratorio:** reproducción del material biológico seleccionado en condiciones de cultivo de laboratorio controlado, en cuanto a luminosidad, temperatura e inyección de aire en volúmenes de 50 mL a 20 L (figura 32).
- 3) **Producción de inóculos:** cultivo de la *Spirulina* en reactores de cultivo cubiertos en invernadero (250 L).
- 4) **Cultivo en reactores de producción:** la *Spirulina* crece en sus condiciones ambientales naturales, en grandes estanques (figura 33).
- 5) **Cosecha:** Se separa la *Spirulina* de su medio de crecimiento.
- 6) **Lavado y concentrado:** con un filtro de vacío se concentra la *Spirulina* y posteriormente se lava para quitar las sales del medio de cultivo.
- 7) **Homogenización:** la pasta se licua para homogeneizarla.
- 8) **Secado:** Se lleva a cabo por atomización (spray-dried) y aire caliente.
- 9) **Acondicionamiento y empaque:** el polvo seco se empaqueta en cajas de 25 kg y se hace el muestreo para su análisis de laboratorio.
- 10) **Tableteado y encapsulado:** se realiza sin excipientes ni aditivos.
- 11) **Preparación de alimentos enriquecidos.** ("*Spiral Spring AEH*").



Fig. 32 Cultivo de *Spirulina* en laboratorio ("*Spiral Spring AEH*,").



Fig. 33 Cultivo de *Spirulina* en reactores de producción ("*Spiral Spring AEH*,")

### 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

---

El deportista busca mejorar su rendimiento, por lo que una alimentación adecuada es importante para lograrlo. Así mismo durante la realización del ejercicio se generan especies reactivas de oxígeno en el músculo y que para protegerse de éste daño es necesario el buen funcionamiento del sistema antioxidante, en el cual participan antioxidantes exógenos que son provistos al cuerpo por la dieta los cuales permitan mejorar el rendimiento deportivo.

Muchos de los deportistas hacen uso de suplementos alimenticios, sin embargo no existe hasta el momento, ningún suplemento alimenticio que esté comprobado mejore el rendimiento y además tenga otros efectos como el mejorar el estado antioxidante.

## 4. JUSTIFICACIÓN

---

Con base en lo anterior, la actividad física se asocia con la prevención de enfermedades, razón por la cual cada día mayor cantidad de personas realiza actividad física, sin embargo, no todas las personas que buscan ejercitarse se encuentran dirigidas por personal especializado que pueda guiarlos en cuanto a la alimentación que deben seguir para obtener los beneficios del deporte y no verse afectados además por los efectos del estrés oxidativo inducido por ejercicio.

Por otro lado, todos los deportistas buscan mejorar su rendimiento y sus marcas deportivas, así como mantenerse en excelente estado de salud, razón por la cual muchos de ellos utilizan suplementos alimenticios diversos.

Con base en lo anterior, por el alto aporte de proteínas, antioxidantes y su seguridad toxicológica, hacen de la *Spirulina* un excelente suplemento para mejorar el rendimiento físico y el estado antioxidante. Por lo que debe ser incluida en la dieta de los deportistas de alto rendimiento y de cualquier persona que realice alguna actividad deportiva.

## 5. HIPÓTESIS

---

La *Spirulina maxima* utilizada como suplemento alimenticio en una dosis de 6g diarios durante 12 semanas, mejora el rendimiento físico y el estado antioxidante en deportistas entrenados (varones nadadores).

## 6. OBJETIVOS

---

### 6.1 GENERAL

Determinar el efecto de la *Spirulina maxima* utilizada como suplemento alimenticio sobre el rendimiento físico y el estado antioxidante en deportistas físicamente entrenados (varones nadadores).

### 6.2 ESPECÍFICOS

- Determinar el efecto de la *Spirulina maxima* sobre el VO<sub>2</sub>max y la frecuencia cardiaca de recuperación.
- Determinar el efecto de la *Spirulina maxima* sobre el resultado de pruebas deportivas (velocidad crítica de natación y pruebas de velocidad).
- Determinar el efecto de la *Spirulina maxima* sobre las enzimas antioxidantes CAT, SOD, GPX y sobre el GSH.
- Determinar el efecto de la *Spirulina maxima* sobre el umbral de lactato.



# 7. DISEÑO EXPERIMENTAL

---

## 7.1 TIPO DE ESTUDIO

Estudio piloto, aleatorizado, ciego simple.

## 7.2 TAMAÑO DE MUESTRA

Catorcesujetos distribuidos en dos grupos de 7 sujetos cada uno.

## 7.3 DIAGRAMA DE DISEÑO EXPERIMENTAL

En la figura 35 se muestra el esquema del diseño del estudio donde se puede ver cada una de las etapas en que se desarrolló, las cuales fueron

- 1) Invitación a los miembros del equipo representativo de la UNAM a participar en el estudio, los que aceptaron firmaron su consentimiento informado (Anexo 2).
- 2) Pruebas Morfofuncionales (Revisión de criterios de inclusión y exclusión, obtención de datos basales). En el anexo 4 se muestra el documento que se les entregó a los participantes donde se les indica las condiciones en que deben presentarse a dichos estudios, en el Anexo 5 el formato de la

nota de ingreso al estudio, Anexo 6 los formatos de verificación de criterios de inclusión y exclusión, en el Anexo 7 Formato de reporte de caso.

- 3) Pruebas deportivas (obtención de datos basales).
- 4) Aleatorización estratificada por edad de los voluntarios (formación de grupos de tratamiento).
- 5) Periodo de tratamiento y seguimiento del mismo (verificación de la no existencia de criterios de eliminación). A cada participante se le entregaron de manera semanal (durante 12 semanas) un paquete con 84 tabletas (Spirulina o placebo) de 500 mg, ellos debían consumir 4 tabletas tres veces al día (con las comidas fuertes) para completar una dosis total de seis gramos diarios. Para el seguimiento se entregaba de manera semanal una encuesta. En el anexo 8 se muestra el formato de encuesta y seguimiento del voluntario.
- 6) Pruebas morfofuncionales y deportivas post-tratamiento (verificación de la no existencia de criterios de eliminación)



**Fig. 34** Esquema de diseño del estudio.

## 7.4 CRITERIOS DE INCLUSIÓN

- Varones
- Nadadores miembros del equipo representativo UNAM
- Sin entrenamientos adicionales a los sugeridos por el entrenador del equipo
- Firma de consentimiento informado (Anexo 2).
- Sanos y aptos para realizar el deporte de natación.

## 7.5 CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

- Que estén participando en otros estudios de investigación
- Que realicen otras actividades deportivas además de la natación
- Tabaquismo
- Ventilación pulmonar disminuida.
- Alergia conocida a la *Spirulina* o a alguno de sus componentes.

## 7.6 CRITERIOS DE ELIMINACIÓN

- Adherencia inadecuada al tratamiento.
- Adherencia inadecuada a la dieta establecida por el nutriólogo
- Que realicen entrenamientos adicionales a los del grupo.
- EA (evento adverso), causado directamente por el producto.
- Condición física o enfermedad que limite al sujeto continuar en el estudio.
- Que no asistan a las pruebas morfofuncionales y/o deportivas, iniciales y/o finales

## 8. METODOLOGÍA

### 8.1 VARIABLES DE ESTUDIO

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	TIPO DE VARIABLE
Consumo Máximo de oxígeno ( $VO_{2max}$ )	Volumen máximo de oxígeno consumido por minuto durante el ejercicio.	Capacidad aeróbica. Calculada a partir de datos obtenidos en la prueba de Bruce (mL/kg/min)	CUANTITATIVA CONTINUA
Índice de Recuperación de la Frecuencia Cardíaca (IRFC)	Disminución de los latidos por minuto durante la recuperación post ejercicio	Capacidad de recuperación Calculada a partir de los datos de FC medidos al término de la prueba de Bruce(lat./min)	CUANTITATIVA CONTINUA
Área bajo la curva de Lactato	Acumulación de lactato en sangre	Resistencia anaeróbica Concentración total de lactato que alcanza la circulación mmol/L	CUANTITATIVA CONTINUA
Umbral de Lactato (LT)	Concentración de lactato en sangre en el cruce metabólico	Resistencia Anaeróbica Concentración de lactato en mmol/L. En el punto de inflexión de la curva.	CUANTITATIVA CONTINUA
Velocidad crítica de la natación (VCN)	Velocidad de nado que puede ser teóricamente mantenida sin llegar a la extenuación	Resistencia en la natación Calculada por regresión lineal a partir de datos obtenidos en pruebas T200, T300 y T400 (m/s)	CUANTITATIVA CONTINUA
Velocidad T300	Velocidad de nado 300 metros (máximo esfuerzo)	Resultado deportivo medido durante la prueba T300 (m/s)	CUANTITATIVA CONTINUA

Tabla 5: Variables fisiológicas y deportivas analizadas que se relacionan con el rendimiento deportivo

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	TIPO DE VARIABLE
Superóxido dismutasa (SOD)	Concentración de superóxido dismutasa en suero.	Primera línea antioxidante. SOD en U/mL	CUANTITATIVA CONTINUA
Catalasa (CAT)	Concentración de catalasa en suero.	Primera línea antioxidante CAT en k/mL	CUANTITATIVA CONTINUA
Glutatión peroxidasa (GPX)	Concentración de glutatión peroxidasa en suero.	Primera línea antioxidante GPX en U/mL	CUANTITATIVA CONTINUA
Glutatión reducido (GSH)	Concentración de glutatión reducido en suero	Segunda línea antioxidante GSH en ug/dL	CUANTITATIVA CONTINUA

Tabla 6: Variables bioquímicas analizadas que se relacionan con el estado antioxidante

## 8.2 PRUEBAS MORFOFUNCIONALES

Estas pruebas se llevaron a cabo en la Unidad de Medicina del Deporte de la UNAM, por el personal que ahí labora, las pruebas se describen brevemente a continuación, y en el Anexo 3 se presenta un ejemplo de la forma en que la Unidad de Medicina del Deporte reportó los resultados de dichas pruebas. Debido a que éste estudio no sólo fue para el protocolo sino también formó parte de la revisión que se realiza periódicamente a los deportistas, se describen todas las

pruebas aunque no todos los datos obtenidos en ellas fueron utilizados y/o analizados en la realización del estudio.

### **8.2.1 HISTORIA CLÍNICA**

Realizada por el médico de medicina del deporte, ésta prueba se llevó a cabo mediante un cuestionario y revisión clínica con el objetivo de determinar si el sujeto es apto para la realización de actividad física o si existe alguna situación clínica que deba tomarse en cuenta durante los entrenamientos. Para el estudio, la información brindada por el médico nos indica si el participante cumple o no con el criterio de inclusión: varón sano y apto para realizar el deporte de Natación, así como la no existencia de criterios de exclusión (tabaquismo, ventilación pulmonar disminuida, alergia a algún componente de la *Spirulina*).

### **8.2.2 ANTROPOMETRÍA**

Realizada por el equipo médico especialista en evaluación de la morfología con el objetivo de evaluar la composición forma y proporción corporal del deportista, información que será de utilidad al entrenador para la determinación de las actividades de entrenamiento. En el Anexo 10 se muestra el formato de evaluación de antropometría que utilizan en la Unidad de Medicina del Deporte para registrar los datos fuente y en la figura 35. Para el estudio no se contempló esta información.



### 8.2.3 ELECTROCARDIOGRAFÍA

Lo realiza personal capacitado, con un electrocardiógrafo Cardiacas V ECAPS 12 (figura 35) con esta prueba se valora si existe el funcionamiento cardiaco es adecuado o si existe alguna condición clínica que deba ser tomada en cuenta en los entrenamientos. La información proporcionada en esta prueba, es valorada por el médico durante la historia clínica para poder dar su diagnóstico. Para el análisis de resultados del estudio no se contempló la información de ésta prueba.



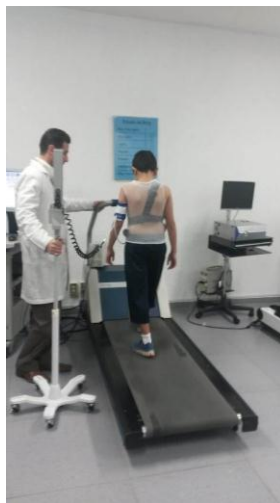
**Fig. 35**Electrocardiógrafo Cardiofax V ECAPS12

## 8.2.4 ESPIROMETRÍA

Con ésta prueba el médico evalúa la capacidad pulmonar del deportista utilizando un espirómetro. La información proporcionada en esta prueba es valorada por el médico durante la historia clínica para poder dar su diagnóstico. Para el análisis de resultados del estudio no se contempló la información de ésta prueba.

## 8.2.4 ERGOMETRÍA

Esta prueba se llevó a cabo en una banda sin fin, se utilizó el protocolo modificado de Bruce (figura 36). En el Anexo 11 se muestra el formato de evaluación de ergometría que utilizan en la Unidad de Medicina del Deporte para registrar los datos fuente. Los datos reportados de ésta prueba fueron utilizados para el análisis estadístico de resultados de  $VO_2\text{max}$  e IRFC.



**Fig. 36 Banda sin fin**

### **8.2.5 NUTRICIÓN**

La consulta nutricional consistió en la evaluación de los hábitos alimenticios, así como la recomendación de una dieta adecuada (en el Anexo 3 se encuentra un apartado de como se indicó la dieta para cada participante). Los datos obtenidos se utilizaron para la caracterización de la muestra en cuanto a la homogeneidad de la dieta entre los miembros de los dos grupos de estudio.

### **8.2.6 BIOMECÁNICA**

Esta prueba tiene por objetivo, medir la fuerza, flexibilidad y potencia anaeróbica y con estos datos, el entrenador realiza los ajustes necesarios durante los entrenamientos. Para el análisis de resultados del estudio no se contempló la información de ésta prueba.

### **8.2.7 PSICOLOGÍA**

Pruebas para medir la concentración y velocidad de reacción auditiva y visual. Para el análisis de resultados del estudio no se contempló la información de ésta prueba.

## **8.3 PRUEBAS DEPORTIVAS**

Estas pruebas se realizaron en la Alberca Olímpica Universitaria, con el apoyo y dirección de los entrenadores del equipo representativo de natación (figura 37).



**Fig. 37 Pruebas de campo Alberca Olímpica Universitaria (UNAM)**

### **8.3.1 VELOCIDAD CRÍTICA DE LA NATACIÓN (VCN)**

Esta prueba se lleva a cabo en dos fases que son las pruebas de velocidad (T200, T300 y T400) y el cálculo de la VCN mediante regresión

#### **8.3.1.1 T200, T300Y T400**

Estas pruebas consistieron en nadar a velocidad máxima 200 m, 300 m y 400 m respectivamente. Las pruebas de 200 m y 400 m se llevaron a cabo el mismo día con una diferencia de tiempo entre ellas de 30 min. La prueba T300 se realizó en el día subsecuente.

#### **8.3.1.2 Cálculo de VCN**

El cálculo de la VCN se realizó mediante la obtención de una recta de regresión lineal de la gráfica de distancia vs tiempo de los puntos de las pruebas T200, T300 y T400. En el Anexo 12 se muestran los gráficos y el cálculo de VCN para cada nadador.

### **8.3.2 T300**

Consistió en nado de 300 m a velocidad máxima. Esta prueba se evaluó de manera independiente al resto de las pruebas de velocidad máxima y se tomó como parámetro para evaluar la mejora en la marca de nado.

## **8.4 PRUEBAS FISIOLÓGICAS**

### **8.4.1 CONSUMO MÁXIMO DE OXÍGENO ( $VO_2$ max)**

El  $VO_2$ max fue evaluado con los resultados de la prueba de ergometría, la cual se realizó mediante el protocolo de Bruce. El cálculo del  $VO_2$ max fue realizado por el personal médico que realizó la prueba.

### **8.4.2 AREA BAJO LA CURVA DE LACTATO Y UMBRAL DE LACTATO**

Esta prueba se realizó en tres fases, las cuales se describen a continuación.

#### ***8.4.2.1 Pruebas progresivas T300***

Las pruebas progresivas de nado de 300 m consistieron en nadar 300 m a 4 distintos porcentajes de potencia (85%, 90%, 95% y 100%). Con 5 minutos de descanso entre cada prueba, registrando los tiempos de nado.

#### ***8.4.2.2 Determinación de Lactato***

La determinación de lactato en sangre venosa periférica (obtenida mediante punsi3n en un dedo) se llevó a cabo en 5 momentos. El primero antes de iniciar

las pruebas progresivas T300 y los siguientes 4 después de cada una de las pruebas T300. Para éstas determinaciones se utilizó un equipo Accutrend plus (Roche). En la figura 38 se muestra la estación de trabajo que se montó para éstas pruebas.



**Fig. 38 Estación de trabajo para proceso de lactato en las instalaciones de la Alberca Olímpica Universitaria (UNAM)**

#### ***8.4.2.3 Cálculo del área bajo la curva de lactato***

Para el cálculo del área bajo la curva de lactato se calcularon las velocidades reales de nado para cada prueba progresiva, se graficó concentración de lactato vs. velocidad y utilizando el programa PRISMA versión 5.0 se calcularon las áreas bajo la curva.

#### ***8.4.2.4 Cálculo del umbral de lactato***

Para el cálculo del umbral de lactato se trazó una curva polinomial de concentraciones de lactato, a ésta curva se le trazaron dos tangentes, una en el

punto más bajo de la curva y otro a una concentración de 15 mmol/L de lactato (como parámetro para el cálculo de la tangente). Se graficó la bisectriz del ángulo formado por las dos tangentes y el punto de intersección de la bisectriz con la curva corresponde al LT (umbral de Bunc) (Imaz, 2013). Para realizar las gráficas y los cálculos se utilizaron las funciones de gráficos de Excel y el graficador de funciones MAFA.

### **8.4.3 INDICE DE RECUPERACIÓN DE LA FRECUENCIA**

#### **CARDIACA**

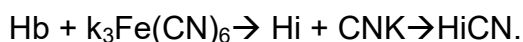
El cálculo del IRFC se realizó mediante la fórmula de Lamiel-Luengo (figura 26) y para ello se utilizaron los datos de recuperación proporcionados por la Unidad de Medicina del Deporte obtenidos en la prueba de tapiz rodante. En el anexo 14 se muestran las tablas con los valores de FCR, y los valores calculados de IRFC, así como de los deltas de IRFC calculados.

## **8.5 PRUEBAS HEMATOLÓGICAS Y BIOQUÍMICAS**

Se realizaron éstas pruebas como parte de la valoración morfofuncional en la Unidad de Medicina del Deporte, excepto por el Colesterol HDL que se realizó en el laboratorio 10 de Bioquímica de la Facultad de Medicina. Estas pruebas no forman parte de los objetivos de éste proyecto por lo que se describen a continuación, pero los resultados no fueron analizados para efecto de comparación entre los grupos de este estudio.

### 8.5.1 HEMOGLOBINA

Examen realizado como parte de los estudios morfofuncionales, se realizó mediante el método colorímetro de la cianometahemoglobina. Consiste en hacer reaccionar la sangre con un reactivo que contiene cianuro y ferrocianuro potásico (reactivo de Drabkins), que oxida la hemoglobina a metahemoglobina la cual a su vez pasa a cianometahemoglobina conforme a la siguiente reacción:

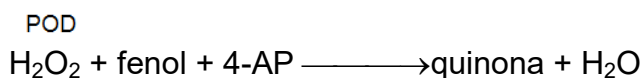
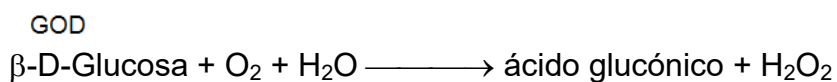


### 8.5.2 HEMATOCRITO

Examen realizado como parte de los estudios morfofuncionales, se realizó mediante el método de microhematocrito.

### 8.5.3 GLUCOSA

Examen realizado como parte de los estudios morfofuncionales, se realizó mediante el método colorímetro de la glucosa oxidasa. La glucosa oxidasa (GOD) cataliza la reacción de la glucosa a ácido glucónico. El peróxido de hidrógeno se detecta mediante un aceptor cromogénico de oxígeno, fenol-ampirona en presencia de peroxidasa (POD) según las reacciones:

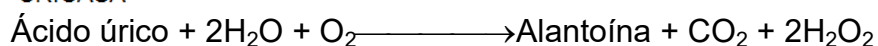




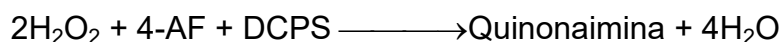
### 8.5.4 ÁCIDO ÚRICO

Examen realizado como parte de los estudios morfofuncionales, se realizó mediante método colorimétrico. El ácido úrico es oxidado por la uricasa a alantoína y peróxido de hidrógeno que en presencia de peroxidasa (POD), 4-aminofenazona (4-AF) y 2-4 DiclorofenolSulfonato (DCPS) forma un compuesto rosáceo de acuerdo a las siguientes reacciones:

URICASA



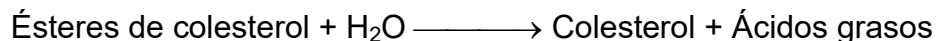
POD



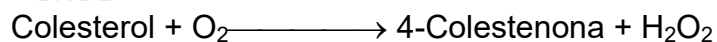
### 8.5.5 COLESTEROL TOTAL

Examen realizado como parte de los estudios morfofuncionales, se realizó mediante método colorimétrico. El colesterol en presencia de esterasa de colesterol (CHE), oxígeno, colesterol oxidasa (CHOD) y peroxidasa (POD) produce un compuesto coloreado según las reacciones siguientes:

CHE



CHOD



POD



### 8.5.6 COLESTEROL HDL

Examen realizado en el laboratorio 10 de Bioquímica de la Facultad de Medicina, se realizó mediante método de precipitación seguido del método colorimétrico de colesterol total. Las lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL) y baja densidad (LDL) del suero o plasma, se precipitan con fosfotungstato en presencia de iones magnesio. Tras la centrifugación, el sobrenadante contiene lipoproteínas de alta densidad (HDL). La fracción de HDL colesterol se determina utilizando el reactivo enzimático de colesterol total.

### 8.5.7 TRIACILGLICEROLES

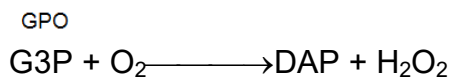
Examen realizado como parte de los estudios morfofuncionales, se realizó mediante método colorimétrico. Los triglicéridos incubados con lipoproteínlipasa (LPL) liberan glicerol y ácidos grasos libres. El glicerol es fosforilado por glicerol fosfato deshidrogenasa (GPO) y ATP en presencia de glicerol kinasa (GK) para producir glicerol-3-fosfato (G3P) y adenosina-5-difosfato (ADP). El G3P es convertido a dihidroxiacetona fosfato (DAP) y peróxido de hidrógeno en presencia de (GPO). El peróxido de hidrógeno reacciona con 4-aminofenazona (4-AF) y p-clorofenol, reacción catalizada por peroxidasa (POD) dando una coloración roja.

LPL

Triglicéridos + H<sub>2</sub>O → Glicerol + ácidos grasos libres

GK

Glicerol + ATP → G3P + ADP

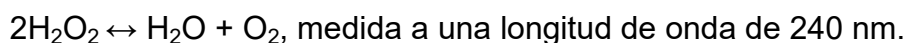


## 8.6 SISTEMA ANTIOXIDANTE

Todas las pruebas del sistema antioxidante se llevaron a cabo en el laboratorio 10 de Bioquímica de la Facultad de Medicina.

### 8.6.1 CATALASA (CAT)

Se midió actividad de catalasa mediante la técnica modificada de Aebi (1947), la cual consiste en una reacción de desaparición de peróxido de hidrógeno catalizada por la catalasa, de acuerdo a la reacción:

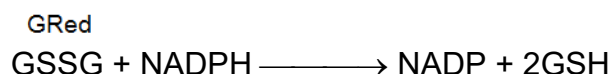
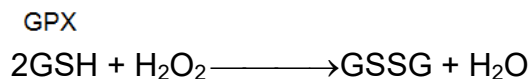


### 8.6.2 SUPEROXIDO DISMUTASA (SOD)

Se determinó la actividad de SOD usando un sistema de reacción que contenía una solución tampón de carbonato sódico, EDTA y NBT (cloruro de nitrotetrazolio azul). La reacción se inició mediante la adición de hidroxilamina. El aumento de la absorbancia se midió a una longitud de onda de 560 nm (Kono, 1978).

### 8.6.3 GLUTATIÓN PEROXIDASA (GPX)

se midió actividad de glutatión peroxidasa mediante la técnica de Wendel (1980) de acuerdo a las reacciones:



### 8.6.4 GLUTATION REDUCIDO (GSH)

La cantidad de glutatión reducido en suero se midió mediante el método colorimétrico de Ellman modificado.

## 8.7 CONTROL Y SEGUIMIENTO DURANTE EL

### TRATAMIENTO

El control del apego al tratamiento y a la dieta, así como de las sensaciones y/o eventos que pudieron presentarse se llevó a cabo mediante una encuesta semanal, cuyo formato se encuentra en el Anexo 7.

## 8.8 ANALISIS ESTADÍSTICO

Los datos se procesaron de tres formas distintas: valores crudos, valores finales menos iniciales (delta,  $\Delta$ ) y el valor correspondiente en % de delta (% de cambio con respecto al valor inicial) los cuales fueron analizados con pruebas no

paramétricas ya que se trata de un estudio piloto con n menor a 30 (se recomienda el uso de pruebas no paramétricas para  $n \leq 30$ ).

Para el análisis estadístico se utilizaron los programas SPSS versión 20.0 y PRISMA versión 5.0 y se utilizaron las siguientes pruebas:

- U-Mann Whitney: Esta prueba se utilizó para analizar los resultados de la delta VCN, delta  $VO_2$ max, delta LT, IRFC, delta CAT, delta SOD, % delta GPX, delta GSH, delta colesterol total, delta colesterol HDL y delta colesterol LDL.
- F de Fisher: Esta prueba se utilizó para analizar los resultados de %delta T300, AUC de lactato.

Con una significancia estadística  $p \leq 0.05$

## 9. RESULTADOS

### 9.1 DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

La muestra se conformó por dos grupos: *Spirulina* y placebo (A y B respectivamente), cada uno con 7 sujetos. En la tabla 7 se muestran las características descriptivas de cada grupo. Es importante mencionar que no se encontraron diferencias significativas en la distribución de edad e IMC entre ambos grupos.

GRUPO A (SPIRULINA)			GRUPO B (PLACEBO)		
CLAVE	EDAD	IMC	CLAVE	EDAD	IMC
GOEDNA1	9	18.54	SARANB1	10	18.88
GAADNA3	16	27.60	MATMNB2	14	24.03
MAHPNA4	20	23.33	ROCHNB4	19	24.04
ROEGNA5	22	25.33	BATCNB5	28	25.00
GOCENA7	15	19.39	MORDNB6	18	21.84
GACGNA8	13	19.31	AAMFNB7	17	20.95
HECDNA9	19	25.39	LAOANB8	13	18.80
Median	16	23.33	Median	17	21.84
Mean	16.29	22.70	Mean	17	21.93
Std. Deviation	4.46	3.61	Std. Deviation	5.77	2.53
Std. Error	1.69	1.37	Std. Error	2.18	0.96
EADDES: Diferencia entre medias $\pm$ ES				0.7143 $\pm$ 2.758	
IMC: Diferencia entre medias $\pm$ ES				-0.7643 $\pm$ 1.667	

Tabla 7: Características descriptivas de los grupos de estudio

## 9.2 PRUEBAS DEPORTIVAS

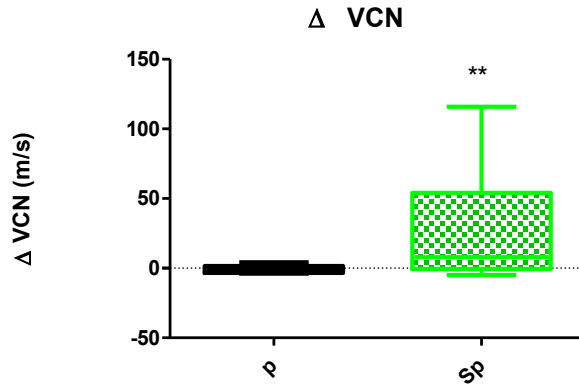
A continuación (tabla 8) se muestran los resultados promedio de las pruebas deportivas para las variables estudiadas.

	<i>Spirulina</i>		Placebo	
	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL
VCN (m/s)	0.9367 ± 0.1113	1.103 ± 0.05432	1.098 ± 0.05282	1.093 ± 0.05499
T300 (m/s)	69.79 ± 6.105	74.95 ± 4.013	72.96 ± 4.112	73.61 ± 3.851
VO <sub>2</sub> max (mL/kg/min)	48.86 ± 2.449	53.1 ± 1.631	52.11 ± 1.966	51.91 ± 1.608
AUC Lactato (mmol/L)	300.8 ± 43.93	305.1 ± 41.15	339.5 ± 31.94	319.3 ± 30.35
LT (mmol/L)	5.469 ± 0.7681	3.62 ± 0.3762	3.405 ± 0.7989	4.04 ± 0.4623
	M ± ES			

Tabla 8: Resultados de pruebas deportivas

### 9.2.1 VELOCIDAD CRÍTICA DE LA NATACIÓN (VCN)

En la figura 39 se muestran los resultados de  $\Delta$  de VCN (diferencia de VCN antes y después del tratamiento) donde se puede ver que los nadadores tratados con *Spirulina* incrementaron significativamente su velocidad crítica de natación en comparación con el grupo placebo, (U Mann Whitney p=0.0465).



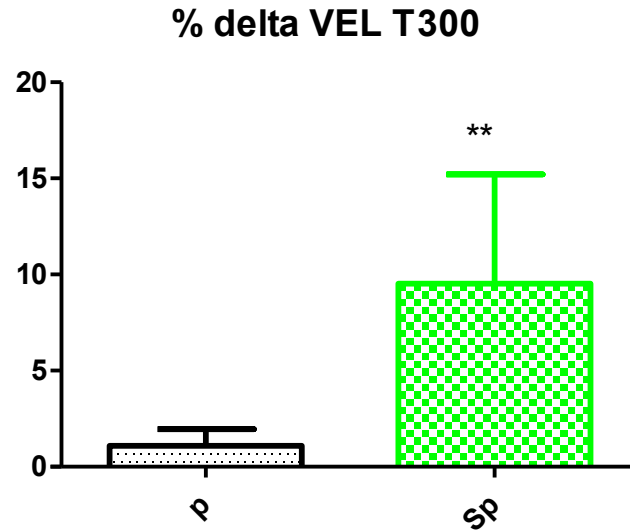
Delta de VCN resultados mostrados en media de  $\Delta \pm$  ES. Resultados significativos con una  $p=0.0465$  (prueba de U Mann Whitney) placebo vs *Spirulina*

**Fig. 39 Gráfica comparativa de resultados de  $\Delta$  VCN**

### 9.2.2 T300

Estos resultados muestran que el 100% de los nadadores tratados con *Spirulina* incrementaron su velocidad (desde 0.67% hasta 35.6%), mientras que solamente el 83.3% de los nadadores tratados con placebo incrementaron su velocidad (desde 0.23% hasta un 4.7%). En la figura 40 se muestra que existe una diferencia significativa en el incremento de la velocidad para la prueba T300 entre el grupo placebo y el grupo tratado con *Spirulina*.





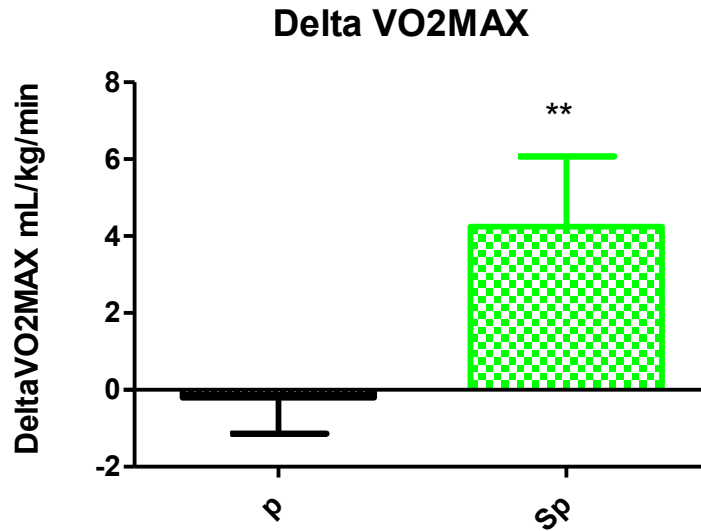
Porcentaje de delta de velocidad a máximo esfuerzo (T300), resultados mostrados en media de % $\Delta$   $\pm$  ES con una  $p=0.0004$ (prueba de Fisher) placebo vs *Spirulina*.

**Fig. 40** Gráfica comparativa de resultados de %  $\Delta$  VELT300

## 9.3 PRUEBAS FISIOLÓGICAS

### 9.3.1 CONSUMO MÁXIMO DE OXÍGENO

Una prueba U Mann Whitney para el  $\Delta$   $VO_2$ max muestra una diferencia significativa entre el grupo tratado con *Spirulina* y el grupo tratado con placebo (figura 41).



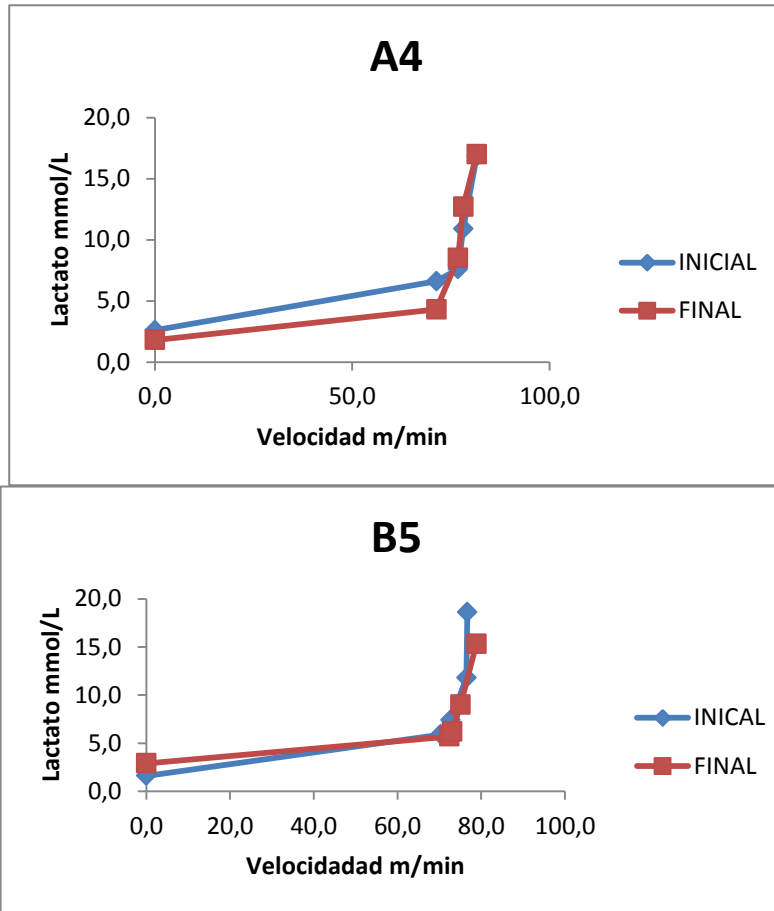
Delta de VO<sub>2</sub>max, resultados mostrados en media de  $\Delta \pm$  ES. Resultados significativos con una  $p=0.0335$  (prueba de U Mann Whitney) placebo vs *Spirulina*.

**Fig. 41 Gráfica comparativa de resultados de  $\Delta$ VO<sub>2</sub>max**

## 9.3.2 LACTATO

### 9.3.2.1 Área bajo la curva de Lactato

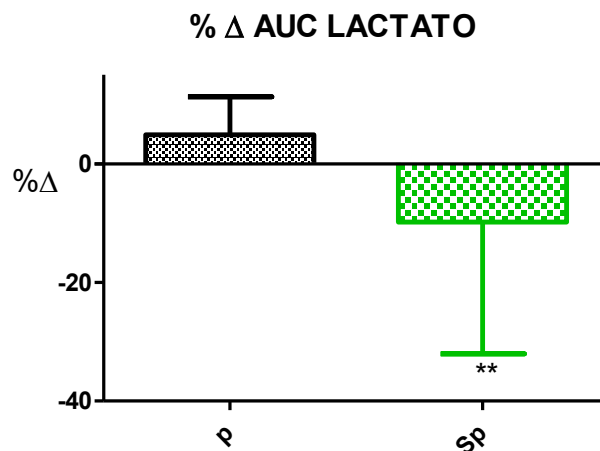
En la figura 42 se muestran dos ejemplos de los resultados individuales de las pruebas progresivas de lactato, la primera corresponde a un nadador tratado con *Spirulina* (A4) y la segunda a uno tratado con placebo (B5). En el anexo 13 se encuentran las gráficas de todos los sujetos.



A4 Sujeto tratado con Spirulina B5 Sujeto tratado con placebo

**Fig. 42 Concentración de lactato vs velocidad de nado en las pruebas progresivas de lactato.**

En la figura 43 se muestra el % de delta del área bajo la curva de ambos grupos; en ella se observa un decremento considerable de la concentración de lactato en el grupo tratado con *Spirulina*, el cual resultó estadísticamente significativo al compararse con el grupo placebo.



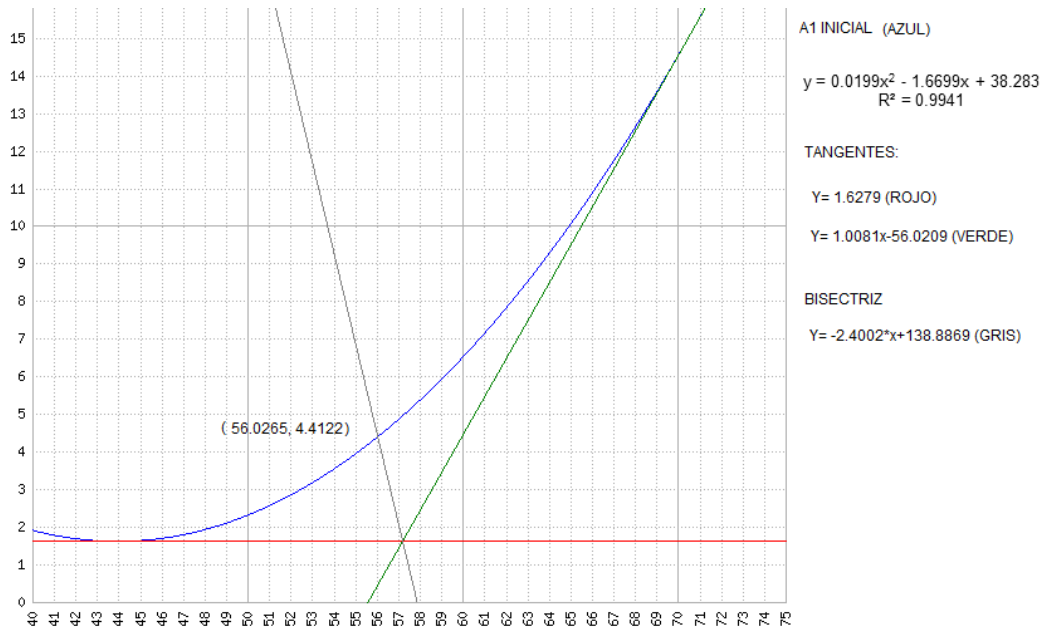
Resultados mostrados del área bajo la curva de lactato a diferentes velocidades en media de  $\% \Delta \pm$  ES con una  $p=0.0132$  (Prueba de Fisher) placebo vs *Spirulina*.

**Fig. 43 Gráfica comparativa % ΔAUC de lactato**

### 9.3.2.2 Umbral de Lactato (LT)

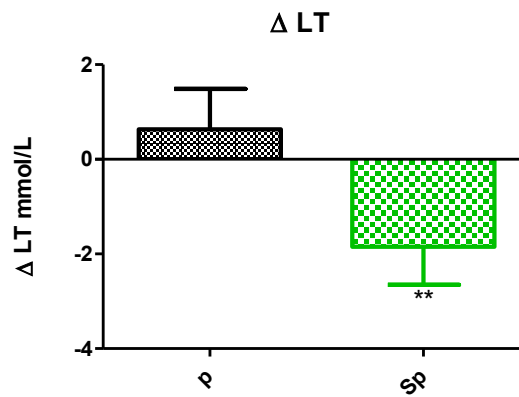
Los resultados de las gráficas de concentración de lactato vs velocidad (esfuerzo) finales, muestran un desplazamiento hacia la derecha con respecto a los basales sin embargo el desplazamiento de los datos del grupo tratado con *Spirulina* se observa mayor que el del grupo tratado con placebo (ver gráficas en anexo 13).

En el tratamiento de los datos de lactato en las pruebas progresivas, se calcularon los valores del umbral de lactato individual (LT) antes y después del tratamiento (la figura 44 muestra un ejemplo de cómo se calculó el LT individual), posterior al análisis estadístico se encontró que existe una diferencia significativa entre los deltas de LT de ambos grupos, tal como se observa en la figura 45.



Azul: función polinómica que se ajusta a los valores crudos de Lactato. Rojo: Recta tangente en el mínimo de la curva, Verde: Recta tangente al punto correspondiente a 15 mmol. Negro: Bisectriz entre las tangentes. El punto de cruce entre la bisectriz (negro) y la curva polinómica (azul) corresponde a los valores de LT (eje y) en mmol/L y MLSS (Eje x) en m/min

**Fig. 44 Gráfica cálculo del LT y MLSS**



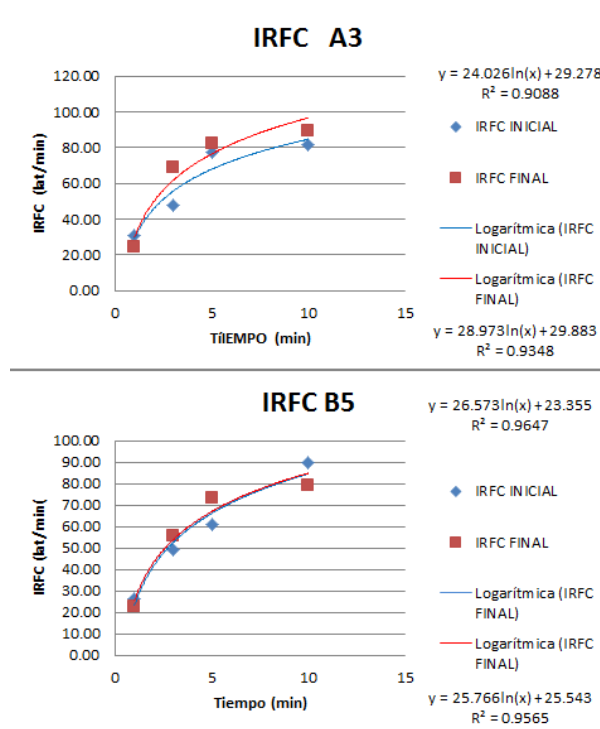
Resultados mostrados del delta de LT  $\Delta \pm ES$  con una  $p=0.0411$  (Prueba de U-Mann Whitney) placebo vs *Spirulina*.

**Fig. 45 Gráfica comparativa  $\Delta LT$**

### 9.3.3 INDICE DE RECUPERACIÓN DE LA FRECUENCIA

#### CARDIACA

El análisis de los datos de recuperación de la frecuencia cardiaca, muestran que aunque hay una tendencia a incrementar el IRFC en los nadadores que recibieron tratamiento con *Spirulina*, no hay diferencia significativa al comparar los IRFC de *Spirulina* vs. placebo. En la Figura 46 se muestran las gráficas comparativas de los IRFC (1,3,5 y 10 minutos) de dos nadadores, uno tratado con *Spirulina* y el otro tratado con placebo. En el Anexo 14 se presenta una tabla con las diferencias en los IRFC (final-inicial) de los nadadores de ambos grupos.



A3 Sujeto tratado con *Spirulina* B5 Sujeto tratado con placebo

**Fig. 46** Gráfica comparativa de los IRFC

## 9.4 SISTEMA ANTIOXIDANTE

A continuación (tabla 9) se muestran los promedios de los resultados obtenidos en las pruebas de las variables estudiadas de sistema antioxidante.

	<i>Spirulina</i>		Placebo	
	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL
CAT (k/mL)	1.3320 ± 0.4887	1.2780 ± 0.3032	1.095 ± 0.4755	0.7976 ± 0.1960
SOD (U/mL)	74.47 ± 0.6907	71.02 ± 0.9340	74.17 ± 0.6163	68.83 ± 1.4470
GPX (U/mL)	0.03282 ± 0.01189	0.02283 ± 0.008035	0.04484 ± 0.004793	0.04304 ± 0.009773
GSH (ug/dL)	45.23 ± 11.08	59.73 ± 2.76	77.73 ± 17.42	55.43 ± 2.52
	M ± ES			

Tabla 9: Resultados de pruebas de sistema antioxidante

### 9.4.1 CATALASA

Los resultados obtenidos para ésta enzima muestran disminución de la actividad catalasa en ambos grupos, sin embargo, la disminución parece ser menor en el grupo tratado con *Spirulina*, aunque la diferencia entre las medias de los deltas ( $\Delta \pm ES$   $-0.2472 \pm 0.8299$ ) no es significativa (figura 47 panel A).

### 9.4.2 SUPEROXIDO DISMUTASA

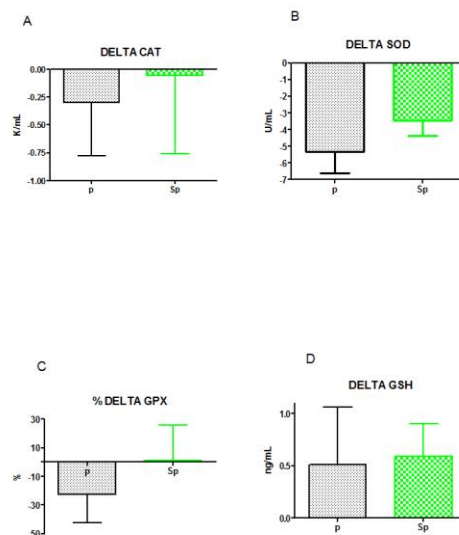
Las concentraciones de SOD muestran disminución en ambos grupos, la disminución de la enzima se observa menor en el grupo tratado con *Spirulina*, aunque la diferencia entre las medias de los deltas ( $\Delta \pm ES$   $-1.851 \pm 1.628$ ) no es significativa (ver figura 47 panel B).

### 9.4.3 GLUTATIÓN PEROXIDASA

Esta enzima se observa con un minúsculo incremento en el grupo tratado con *Spirulina*, mientras que en el grupo tratado con placebo se observa una disminución, a pesar de eso, la diferencia entre las medias de los deltas ( $\Delta \pm ES$   $-0.008183 \pm 0.02059$ ) no es significativa (ver figura 47 panel C).

### 9.4.4 GLUTATION REDUCIDO

Las concentraciones de GSH muestran un incremento en ambos grupos, el incremento se observa mayor en el grupo tratado con *Spirulina*; la diferencia entre las medias de los deltas ( $\Delta \pm ES$   $-0.08201 \pm 0.6361$ ) no es significativa (ver figura 47 panel D).



Panel A Delta actividad de Catalasa Panel B Delta actividad de Superóxido dismutasa Panel C % Delta actividad de Glutación peroxidasa, Panel D Delta concentración en suero de Glutación Reducido

**Fig. 47 Gráficas comparativas de sistema antioxidante**



## 9.5 LÍPIDOS

### 9.5.1 COLESTEROL TOTAL

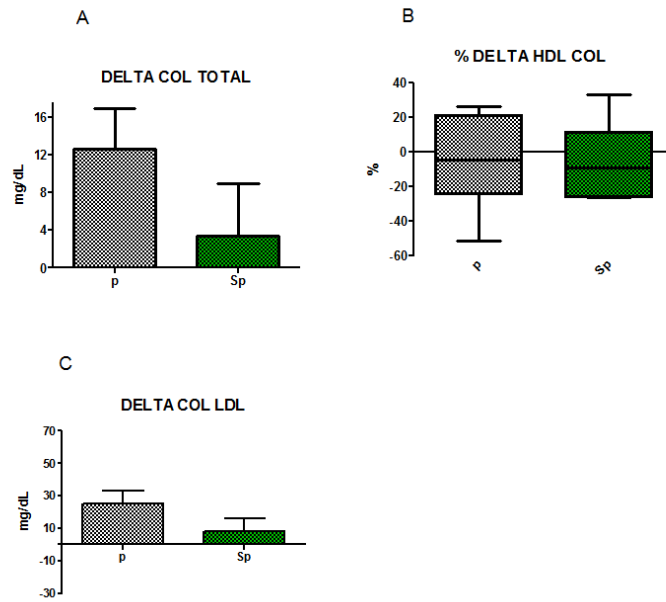
Las concentraciones de Colesterol total se observan disminuidas en el grupo tratado con *Spirulina*, sin embargo la diferencia entre las medias de los deltas ( $\Delta \pm$  ES  $9.157 \pm 6.908$ ) no es significativa (ver figura 48 panel A).

### 9.5.2 COLESTEROL HDL

Las comparación de las concentraciones de Colesterol HDL *Spirulina* vs. placebo muestra  $\Delta \pm$  ES  $1.629 \pm 9.478$  sin encontrarse diferencia significativa (ver figura 48 panel B).

### 9.5.3 COLESTEROL LDL

Las concentraciones de Colesterol LDL se observan disminuidas en el grupo tratado con *Spirulina*, sin embargo la diferencia entre las medias de los deltas ( $\Delta \pm$  ES  $16.84 \pm 11.63$ ) no es significativa (ver figura 48 panel C).



Panel A Delta Colesterol total Panel B Delta HDL colesterol Panel C % Delta Colesterol LDL

**Fig. 48 Gráficas comparativas de lípidos**

## 10. DISCUSIÓN

---

La mejora del desempeño deportivo en los atletas de alto rendimiento se ve influenciado por distintos aspectos como son el entrenamiento, la alimentación, el descanso, las actividades extradeportivas, la propia genética, etc., todo ello se ve reflejado en las marcas deportivas (Pyne & Sharp, 2014). Dado que en el presente estudio realizado se observó un mejor rendimiento en los nadadores tratados con *Spirulina* al existir un incremento en la VCN así como la disminución en las marcas para la prueba T300 en estilo libre (crawl) como lo muestran algunos autores en sus mediciones deportivas en nadadores en los diferentes estilos y categorías (Morais, 2013).

Pasiakos y colaboradores encontraron que la suplementación con proteínas incrementa la masa y fuerza musculares y que esto podría mejorar el rendimiento físico (Pasiakos et al., 2014). Por otro lado, el consumo de alimentos que incrementen la creatina podrían mejorar rendimiento deportivo (Derave & Tipton, 2014). Aunque no podemos asegurar que la *Spirulina* promueva la producción endógena de creatina es posible que éste sea un mecanismo, ya que el contenido de aminoácidos de la *Spirulina maxima* incluye glicina, arginina y metionina, los cuales son necesarios para que el hígado pueda producir creatina. Aunado a esto, en éste estudio se ha observado, en el grupo tratado con *Spirulina*, una disminución de las concentraciones de lactato y del umbral de lactato en las pruebas progresivas de esfuerzo, por lo que es probable que el mecanismo de

acción en la mejora del rendimiento deportivo se encuentre en la asimilación de las proteínas y demás nutrientes, manteniendo así al atleta en condiciones de menor agotamiento y favoreciendo la vía aeróbica, lo cual se observó en éste estudio al encontrarse en el grupo tratado con *Spirulina* un incremento significativo en el  $VO_2\text{max}$  y reduciendo el tiempo de fatiga tal como lo reporta Kalafati (Kalafati *et al.*, 2010).

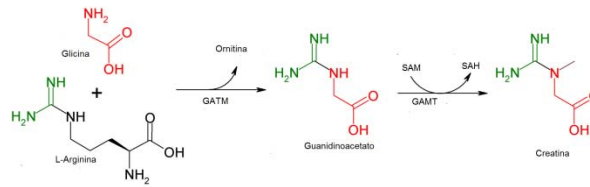
Los resultados obtenidos del lactato muestran una vez más una mejora en la utilización de la vía aeróbica, ya que se disminuye el LT individual, y se incrementa el esfuerzo (desplazamiento a la derecha de la curva), lo anterior aunado a los resultados obtenidos en  $VO_2\text{max}$  y en las pruebas deportivas, nos permite concluir que el grupo tratado con *Spirulina maxima* mejora su rendimiento aeróbico en mayor medida que el grupo tratado con placebo (tomando en cuenta que el entrenamiento de por sí, mejora el rendimiento).

De la misma manera que Kalafati (Kalafati *et al.*, 2010) en el estudio realizado en deportistas moderadamente entrenados, se observa un incremento en la concentración de glutatión reducido en el grupo tratado con *Spirulina*, lo anterior, aunado a que, la disminución de actividad de las enzimas antioxidantes parece ser menor en el grupo tratado con *Spirulina* que en el grupo placebo, es posible suponer una mejoría en el sistema antioxidante al consumir *Spirulina*.

Como ya se ha mencionado anteriormente, el incremento del rendimiento físico se observa en dos principales maneras, el incremento de las capacidades producción

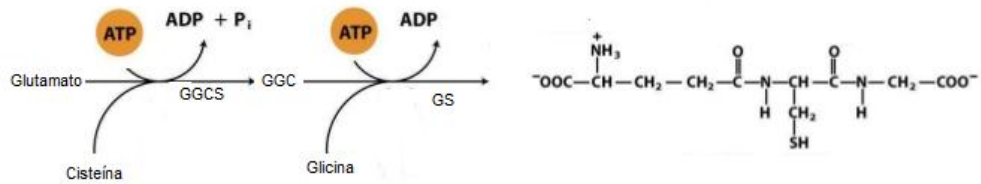
y utilización de energía a través de las adaptaciones en el SAO, y por otro lado la reducción de la fatiga; ambas relacionadas, pues el mantenimiento de la fuerza muscular durante el ejercicio se logra cuando es posible la generación y utilización de energía química (ATP) a través del metabolismo aeróbico y anaeróbico. Mientras que la fatiga se presenta cuando se ha agotado dicha energía o cuando los productos finales del metabolismo se acumulan en el músculo. En éste sentido es que se vuelve importante el mantener reservas suficientes de combustibles para la célula (glucosa, glucógeno, fosfocreatina) y tener un sistema efectivo de “recambio” de los productos finales del metabolismo (principalmente lactato y ERO’s). La *Spirulina maxima* podría estar actuando en ambas vías; los mecanismos probables para ello son:

- 1) Mantener reservas energéticas: Durante la actividad muscular intensa, la resíntesis de fosfocreatina está directamente relacionada con la potencia muscular; mantener los depósitos de fosfocreatina en el sarcómero del músculo mediante la suplementación de precursores de creatina (metionina, glicina y arginina) contenidos en la *Spirulina* para facilitar la síntesis de novo de creatina (figura 49) podría ser una vía para incrementar la síntesis de fosfocreatina y con ello mejorar la potencia anaeróbica.



**Fig. 49 Síntesis de novo de creatina**

- 2) Eliminar más rápidamente los productos finales del metabolismo: La creatina posee también capacidad para actuar como buffer intracelular para el amortiguar la concentración de protones (H<sup>+</sup>) derivados de la desprotonación del ácido láctico, retardando la acidosis en el músculo; así la *Spirulina* al facilitar la resíntesis de creatina podría estar retardando la fatiga causada por la acumulación del ácido láctico.
- 3) El magnesio participa como cofactor en diversas reacciones enzimáticas involucradas en la transferencia de fosfato, por lo que el mantener las reservas de magnesio (por suplementación con *Spirulina*) puede ser una vía más para mejorar la obtención de energía (ATP).
- 4) La suplementación con vitamina E, SOD, precursores de glutatión (figura 50), ficocianina y otros antioxidantes mediante el consumo de *Spirulina* podría representar un refuerzo al sistema antioxidante del deportista y con ello un factor más de disminución de la fatiga.



**Fig. 50 Síntesis de novo de glutatión reducido**

Uno de los efectos del ejercicio es la mejora el metabolismo de los lípidos al incrementar la actividad de la lipasa sensible a hormonas (LSH) así como de la lipoproteína lipasa; es posible por tratarse de deportistas entrenados, los cambios observados en los perfiles lipídicos en otros estudios realizados con *Spirulina* no se observen en éste estudio como cambios significativos ([Torres-Duran et al., 2007](#); [Torres-Duran et al., 2012](#)).

## 11. CONCLUSIONES

---

El tratamiento con *Spirulina maxima* en varones deportistas produce una mejora sobre el rendimiento deportivo incrementando el consumo máximo de oxígeno y disminuyendo la fatiga y las concentraciones de lactato, así como una tendencia a mejorar el sistema antioxidante y el transporte de lípidos, disminuyendo las LDL.

Los resultados obtenidos en este estudio sientan bases para realizar otros estudios en los que se incremente el número de participantes, se tome en cuenta un rango de edad más específico, se incluyan sujetos que practiquen distintos deportes y no sólo natación, con una duración del estudio mayor (ciclo completo de entrenamiento) y con la investigación de otros indicadores.



## 12. REFERENCIAS

---

- Bowers-Richard W, F.-E.L. (1995). *Fisiología del deporte*: Editorial Panamericana.
- Calderón, F. J., Benito, P. J., Butragueño, J., Díaz, V., Peinado, A. B., Álvarez, M., . . . Castillo, M. J. (2009). Recuperación de la frecuencia cardíaca y ventilación, y su relación con la lactacidemia, tras una prueba de esfuerzo en jóvenes deportistas. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 2(3), 87-92.
- Calderón, F. J., Cruz, E., Montoya, J. Estudio comparado de la recuperación de la frecuencia cardíaca en deportistas de fondo: Triatletas, atletas, ciclistas y nadadores. Retrieved from
- Corrales, L. C., & Muñoz Ariza, M. M. (2012). Estrés oxidativo: origen, evolución y consecuencias de la toxicidad del oxígeno. *Nova*, 10, 213-225.
- Coulson, M., J. CooperyD. (2004). Velocidad Crítica de la Natación: un test práctico y eficiente para medir la capacidad aeróbica. *Alto Rendimiento*, 3, 9-11. Retrieved from [www.altorendimiento.com](http://www.altorendimiento.com) website:
- Cuesta Salvador, M. (2010). Natación (1915) Santiago Mestres Fossas. *Ahora para la Educación Física y el Deporte*, 1, 97-105.
- Chamorro, G., Salazar, M., Araujo, K. G., dos Santos, C. P., Ceballos, G., & Castillo, L. F. (2002). [Update on the pharmacology of Spirulina (Arthrospira), an unconventional food]. *Arch Latinoam Nutr*, 52(3), 232-240.
- Chamorro, G., Salazar, M., Favila, L., & Bourges, H. (1996). [Pharmacology and toxicology of Spirulina alga]. *Rev Invest Clin*, 48(5), 389-399.
- Chamorro, G., Salazar, M., Gomes de Lima Araújo, K., Pereira dos Santos, C., Ceballos, G., & Fabila Castillo, L. (2002). Actualización en la farmacología de Spirulina (Arthrospira), un alimento no convencional. *Arch Latinoam Nutr*, 52, 232-240.
- Chauvet Ferrero, M. V. (2004). Comparación de tests: Cooper y Rockport. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 4 (14), 144-162.
- Delvis, P. P. J. L. a. P. O. r. (2009). El entrenamiento deportivo: conceptos, modelos y aportes científicos relacionados con la actividad deportiva. *Revista Digital efdeportes*, Año 13 No. 129.
- Derave, W., & Tipton, K. D. (2014). *Dietary supplements for aquatic sports*. Paper presented at the Int J Sport Nutr Exerc Metab.
- Devlin, T. M. (2004). *Bioquímica. Libro de texto con aplicaciones clínicas* (4ta ed.): Reverté.
- Feduchi Canosa, E. (2015). Bioquímica : conceptos esenciales. Retrieved from <http://www.medicapanamericana.com/VisorEbookV2/Ebook/9788498354843>
- Firman, G. (2000). Fisiología del Ejercicio Físico, 22. Retrieved from Intermedicina website: [http://www.intermedicina.com/Avances/Interes\\_General/AIG05.html](http://www.intermedicina.com/Avances/Interes_General/AIG05.html)
- García Manso J.M., N. V. M., Ruiz Caballero J.A. (1996). *Pruebas para la Valoración de la Capacidad Motriz en el Deporte. Evaluación de la Condición Física* (Vol. 3): Gymnos Editorial Deportiva.

González-Boto, R., Molinero González, O, Cuadrado Sáenz, Gonzalo "et al.". (2007). Aportaciones teóricas en la concepción del entrenamiento deportivo moderno, 21. Retrieved from [www.altorendimiento.com](http://www.altorendimiento.com) website:

Gutiérrez, J. R. V. (2002). Daño Oxidativo, Radicales Libres y Antioxidantes. *Rev Cubana Med Milit*, 31(2), 126-133.

Heyward, V. H. (2008). *Evaluación de la aptitud física y Prescripción del ejercicio* (5ta Edición ed.): Médica Panamericana.

Imaz, I. A. (2013). *COMPARACIÓN DE DIFERENTES MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DEL UMBRAL ANAERÓBICO INDIVIDUAL Y SU EQUIVALENCIA CON EL MÁXIMO ESTADO ESTABLE*. (Doctoral), Universidad del País Vasco, FACULTAD DE CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEL DEPORTE.

Jesús Álvarez-Herms, S. J.-S., Francisco Corbi , Teresa Pagès , Ginés Visco. (2012). Valoración de la Frecuencia Cardíaca de Recuperación después de un programa de entrenamiento de fuerza-resistencia en hipoxia. *Apunts Med Esport.*, 47. doi:10.1016

Kalafati, M., Jamurtas, A. Z., Nikolaidis, M. G., Paschalis, V., Theodorou, A. A., Sakellariou, G. K., . . . Kouretas, D. (2010). Ergogenic and Antioxidant Effects of Spirulina Supplementation in Humans. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42(1), 142-151. doi:10.1249/Mss.0b013e3181ac7a45

Kohji Wa Ka Yoshi, K. I., Takayoshi Yoshida, Masao Udo, Toshio Moritani, Yoshiteru Mutoh y Mitsumasa Miyashita. (1993). Determinación y Validez de la Velocidad Crítica, como un Índice de Performance de Natación, en Nadadores Competitivos. *Revista de Actualización en Ciencias del Deporte*, Vol. 1 Nº 4. .

López Chicharro José, L. M. L. M. (2008). Fisiología Clínica del Ejercicio (pp. 3-33): Editorial Médica Panamericana.

Luqueño-Bocard O.I., J.-O. M. A., Torres-Duran P.V. (2011, Septiembre 2011). Spirulina Un alimento del pasado ¿para el futuro? *¿Cómo ves?*, 13, 40.

Marie-Thérèse Droy-Lafaix, C. F., Monique Gardes-Albert. (2000). Los Radicales Libres en 10 Preguntas (pp. 40): Farmasa Schwabe.

Marles, R. J., Barrett, M. L., Barnes, J., Chavez, M. L., Gardiner, P., Ko, R., . . . Griffiths, J. (2011). United States Pharmacopeia Safety Evaluation of Spirulina. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51(7), 593-604. doi:10.1080/10408391003721719

Martínez-Sanz, J. M., Mielgo-Ayuso, J., & Urdampilleta, A. (2012). Composición corporal y somatotipo de nadadores adolescentes federados. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 16(4), 130-136.

Mayor-Oxilia, R. (2010). Estrés Oxidativo y Sistema de Defensa Antioxidante. *Rev. Inst. Med. Trop*, 5 (2), 23-29.

McArdle, W. D. (2004). *Fundamentos de fisiología del ejercicio* (McGraw-Hill Ed. Segunda ed.).

McArdle William D., K. F., Katch Victor L. *Fundamentos de Fisiología del ejercicio* (M. G. Hill Ed. Segunda ed.).

Mojica-Villegas María Angélica, M.-G. E., Pérez-Pastén-Borja Ricardo, Garduño Siciliano Leticia, Chamorro-Ceballos Germán. . (2009). Estudios de Toxicidad Reproductiva con Spirulina (Arthospira). . *Setenta y cinco años de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas IPN* 103-120.

Moorhead, K., Capelli, Bob, Cysewski, Gerald R. (2011). *Spirulina Nature's Superfood* (3rd edition ed.): Cyanotech Corporation.

Morais, J. E., Garrido, N. D., Marques, M. C., Silva, A. J., Marinho, D. A., & Barbosa, T. M. . (2013). The Influence of Anthropometric, Kinematic and Energetic Variables and Gender on Swimming Performance in Youth Athletes. . *Journal of Human Kinetics*, 39, 203-211.

Murray RK, B. D., Botham KM, Kennelly PJ, Rodwell VW, Weil PA.(2010). *Harper: Bioquímica Ilustrada* (R. MB, Trans. R. HG Ed. 28a ed.): McGraw-Hill Interamericana Editores, SA de CV.

*NORMA Oficial Mexicana NOM-008-SSA3-2010, Para el tratamiento integral del sobrepeso y la obesidad.* (2010). [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5154226&fecha=04/08/2010](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5154226&fecha=04/08/2010): Diario Oficial de la Federación.

Palacios Gil-Antuñano, N. e. a. (2008). Consenso sobre bebidas para el deportista. Composición y pautas de reposición de líquidos. *Archivos de Medicina del Deporte*, XXV, 245-258. Retrieved from <http://femede.es/documentos/Consenso%20hidratacion.pdf>

[Pasiakos, S. M., McLellan, T. M., & Lieberman, H. R. \(2014\). The Effects of Protein Supplements on Muscle Mass, Strength, and Aerobic and Anaerobic Power in Healthy Adults: A Systematic Review. \*Sports Med\*. doi:10.1007/s40279-014-0242-2](#)

[Pedraza, G. X. \(1989\). Cultivo de Spirulina maxima para suplementación proteica \*Livestock Research for Rural Development\*, 1. Retrieved from <http://www.fao.org/Ag/aGA/AGAP/FRG/lrrd/lrrd1/1/gloria.htm>](#)

[Perl-Olof Astrand, K. R., Hans A. Dahl. \(2010\). \*Manual de fisiología del ejercicio\* \(E. Paidotrobo Ed.\): Ed. \[Paidotrobo\]\(#\)](#)

[Pyne, D. B., & Sharp, R. L. \(2014\). Physical and energy requirements of competitive swimming events. \*Int J Sport Nutr Exerc Metab\*, 24\(4\), 351-359. doi:10.1123/ijsnem.2014-0047](#)

[Ramírez-Moreno, L., & Olvera-Ramírez, R. \(2006\). Uso tradicional y actual de spirulina sp. \(arthospira sp.\). \*Interciencia\*, 31, 657-663.](#)

Ramos-Jimenez, A., Hernandez-Torres, R. P., Torres-Duran, P. V., Romero-Gonzalez, J., Mascher, D., Posadas-Romero, C., & Juarez-Oropeza, M. A. (2008). [The Respiratory Exchange Ratio is Associated with Fitness Indicators Both in Trained and Untrained Men: A Possible Application for People with Reduced Exercise Tolerance.](#) *Clinical Medicine: Circulatory, Respiratory and Pulmonary Medicine*, 2, 1-9.

Ramos-Jiménez Arnulfo, A.-J. J. A. S.-J. A., Hernández-Torres Rosa Patricia, Wall-Medrano Abraham, Torres-Durán Patricia Victoria, Juárez-Oropeza Marco Antonio, Viloría María, Villalobos-Molina Rafael. . (2014). [Fasting and postprandial glycemia in response to a strenuous workout in healthy subjects with family history of diabetes and borderline insulin resistance.](#) . *Experimental and clinical cardiology*, 20(6), 139-161.

Saavedra, J., Escalante, Y., Rodríguez, F. (2003). La Evolución de la Natación. *efDeportes.com*, Año 9 No. 66. Retrieved from [www.efdeportes.com](http://www.efdeportes.com) website: <http://www.efdeportes.com/efd66/natacion.htm>

[Spiral Spring AEH](http://www.spiralspring.com/). Retrieved from <http://www.spiralspring.com/>

[Téllez, A. L., Jiménez, A. M., Blanco, J. M., Rodríguez, J. C. P., Martí, M. C. V., & Alba, C. F. F. \(2002\)](#). Antropometría y grado de maduración en nadadores adolescentes. *Archivos de medicina del deporte: revista de la Federación Española de Medicina del Deporte y de la Confederación Iberoamericana de Medicina del Deporte*(87), 29-35.

Torres-Duran, P. V., Ferreira-Hermosillo, A., & Juarez-Oropeza, M. A. (2007). [Antihyperlipemic and antihypertensive effects of Spirulina maxima in an open sample of Mexican population: a preliminary report](#). *Lipids in Health and Disease*, 6.doi:Artn 33

[Doi 10.1186/1476-511x-6-33](https://doi.org/10.1186/1476-511x-6-33)

[Torres-Duran, P. V., Ferreira-Hermosillo, A., Ramos-Jimenez, A., Hernandez-Torres, R. P., & Juarez-Oropeza, M. A. \(2012\)](#). Effect of *Spirulina maxima* on Postprandial Lipemia in Young Runners: A Preliminary Report. *Journal of Medicinal Food*, 15(8), 753-757. doi:DOI 10.1089/jmf.2011.0309

[Tresguerres, J. A. F. \(2005\)](#). *Fisiología Humana* (Tercera Edición ed.): MC Graw Hill Interamericana.

Urdampilleta Aritz, M.-S. J. M., Cejuela Roberto. (2012). Indicadores del rendimiento deportivo: aspectos psicológicos, fisiológicos, bioquímicos y antropométricos 17. Retrieved from <http://www.efdeportes.com/efd173/indicadores-del-rendimiento-deportivo.htm>

Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (2004). *Fisiología del esfuerzo y del deporte*: Paidotribo.

## 13. ANEXOS

---

### ANEXO 1 Composición típica de la *Spirulina* (Moorhead, 2011)

#### Minerals

Calcium	10 mg
Magnesium	15 mg
Iron	6.5 mg
Phosphorus	33 mg
Potassium	60 mg
Sodium	30 mg
Manganese	400 mcg
Zinc	90 mcg
Boron	22 mcg
Copper	20 mcg
Selenium	0.9 mcg
Iodine	15 mcg

#### Vitamins

Vitamin A (100% as Beta-Carotene)	11,250 IU
Vitamin B1 Thiamine	3.5 mcg
Vitamin B2 Riboflavin	140 mcg
Vitamin B3 Niacin	400 mcg
Vitamin B6 Pyridoxine	30 mcg
Vitamin B12 Cobalamin	9.0 mcg
Vitamin E d- $\alpha$ -tocopherol	285 mcg
Inositol	1.7 mcg
Biotin	0.5 mcg
Folic Acid	6.2 mcg
Pantothenic Acid	4.5 mcg
Vitamin K1	60 mcg
Vitamin K2	15 mcg

#### Fatty Acids (Total 48 mg per gram)

<b>Omega 6 Family</b>	
Gamma Linolenic (GLA)	32 mg
Essential Linoleic	33 mg
Dihomogamma Linolenic	1.59 mg
<b>Omega 3 Family</b>	
Alpha Linolenic	0.0435 mg
Docosahexaenoic (DHA)	0.0435 mg
<b>Monoenoic Family</b>	
Palmitoleic	5.94 mg
Oleic	0.51 mg
Erucic	0.072 mg

#### Other Fatty Acids

Palmitic Acid	61 mg
Myristic acid	0.4 mg
Stearic Acid	2.5 mg
Arachidonic	0.2 mg
Behenic Acid	0.144 mg
Lignoceric Acid	0.072 mg

### Phytonutrients

Beta-Carotene	6.8 mg
Zeaxanthin	9 mg
Chlorophyll	30 mg
Total Carotenoids	15 mg
C-Phycocyanin	240 mg
Total Phycocyanins	519 mg
Superoxide Dismutase	1080 units

### Typical Amino Acid Analysis

Essential amino Acids	% of Total	Mg per Gram
Isoleucine	5.43	32.6
Leucine	8.15	48.9
Lysine	4.37	26.2
Methionine	2.22	13.3
Phenylalanine	4.35	26.1
Threonine	4.68	28.1
Tryptophan	1.41	8.5
Valine	6.23	37.4
<b>Non-Essential amino Acids</b>		
Alanine	7.74	46.6
Arginine	7.94	47.6
Aspartic Acid	12.14	72.8
Cystine	0.93	5.6
Glutamic Acid	14.07	84.4
Glycine	5.32	31.9
Histidine	2.50	15.0
Proline	4.11	24.7
Serine	4.42	26.5
Tyrosine	3.97	23.8
<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>600.0</b>

## ANEXO 2: Consentimiento informado

Texto informativo para participar en el proyecto de investigación titulado:

“Efectos de la *Spirulina maxima* como suplemento alimenticio sobre el rendimiento físico y el estado antioxidante en varones deportistas (nadadores)”

La *Spirulina maxima* es una cianobacteria que ha sido consumida por los humanos desde la antigüedad como es el caso los aztecas que habitaban los alrededores del Lago de Texcoco y que contiene una gran cantidad de nutrientes que favorecen la buena nutrición y que por su contenido de vitaminas, minerales y antioxidantes se considera un buen suplemento alimenticio para el uso de los deportistas y que puede ayudar a mejorar su rendimiento físico. Además de que se ha demostrado que carece de efectos tóxicos en cualquiera de las dosis empleadas.

Con base en la riqueza nutricional de éste producto hemos preparado un trabajo de investigación cuyo objetivo es demostrar científicamente el efecto de la *Spirulina maxima* en el rendimiento físico de los varones deportistas. El trabajo consiste en monitorear a un grupo de nadadores a los cuales se les realizarán pruebas clínicas, deportivas y bioquímicas que incluyen pruebas de rendimiento físico como son prueba de Course Navette y velocidad crítica de la natación y T300, así como mediciones antropométricas y estudios de laboratorio clínico que incluyen glucosa, triacilgliceroles, colesterol total, colesterol HDL, colesterol LDL, aminotransferasas, ácidos grasos libres, lactato y superóxido dismutasa, catalasa y glutatión peroxidasa. Este monitoreo se realizará al inicio y al final del estudio que durará 12 semanas, se llevará a cabo además un seguimiento mediante el llenado de un formato cada semana durante las 12 semanas que dura el tratamiento.

CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA PARTICIPAR EN EL PROYECTO “Efectos de la *Spirulina maxima* como suplemento alimenticio sobre el rendimiento físico y el estado antioxidante en varones deportistas (nadadores)”

Estoy consciente de los posibles beneficios científicos que se obtengan del estudio, así como de que el presente estudio no es con fines de lucro y he sido informado por los responsables del estudio que los resultados obtenidos serán utilizados únicamente con fines académicos, manteniéndose los resultados en completo anonimato y discreción.

También he sido informado que podré ser separado del estudio en cualquier momento que lo considere conveniente o por recomendación de los investigadores y médicos responsables. (Que se observe una patología o enfermedad y por lo tanto que requiera un fármaco o bien que no se tenga la voluntad de seguir con el experimento).

Por lo que me comprometo a participar en el estudio “Efectos de la *Spirulina maxima* sobre el rendimiento físico en varones deportistas” realizado en las Instalaciones Deportivas, la Unidad de Medicina del Deporte y en el laboratorio 10 del departamento de Bioquímica de la Facultad de Medicina de la UNAM, por el cual estoy dispuesto a:

- 1) Consumir 6 g de *Spirulina maxima* en forma de tabletas (4 en cada alimento) 12 diarias durante 12 semanas.
- 2) Asistir a las pruebas clínicas, deportivas y bioquímicas al inicio y al final de estudio.
- 3) Facilitar 5 muestras de sangre periférica (tomadas mediante piquete en un dedo) durante la prueba T300 progresiva que se realizará al inicio y al final del estudio (10 muestras en total).
- 4) Facilitar muestras de sangre venosa de 5 mL al inicio y al final del estudio (2 muestras en total)
- 5) Entregar la información de seguimiento que me soliciten semanalmente durante las 12 semanas que dura el estudio.

Nombre \_\_\_\_\_ Firma \_\_\_\_\_

Fecha \_\_\_\_\_


Responsables del proyecto

Dra. Patricia Victoria Torres Durán \_\_\_\_\_

QFB. Ma Guadalupe Calderón Gallardo \_\_\_\_\_



## ANEXO 3: Formato de reporte de estudios morfofuncionales



**Universidad Nacional Autónoma de México**  
 Dirección General de Actividades Deportivas y Recreativas  
 Dirección de Medicina del Deporte

**Reporte Integral-Evaluación Morfofuncional**

Nombre:	Sexo: <b>MASCULINO</b>	Tipo: <b>Estudiante</b>
CURP:	Deporte: <b>NATACIÓN</b>	Equipo: <b>PROTODOLLO SPIRULINA</b>
Fecha de evaluación: <b>29 de abril de 2015</b>	Edad (años):	Talla (mm):
Peso (kg):		

**Historia Clínica**

Diagnóstico: **Apto para la actividad física** FC: 56 TA: 110 - 80

Tratamiento Actual: **Seguimiento médico y EMF periódico**

**Antropometría**

Parámetro	Actual		Fase I		Fase Final	
	kg	%	kg	%	kg	%
Peso	77.30		79.25		79.25	
Masa grasa	11.84	15.32			12.00	12.00
Excedente de grasa			2.57		2.57	
Masa muscular	34.79	45.00			50.00	50.00
Déficit muscular			3.88		3.87	
Masa corporal activa	55.60	84.88	I.M.C.: 24.20			
Masa ósea	12.12	15.68	Calificación: <b>NORMAL</b>			
Masa visceral	18.55	24.00				

Sonotipo: **Meso-endomórfico**  
 Endo: 3.30 Meso: 4.58 Ecto: 2.08

Diagnóstico de somatocopia: **Sin datos que reportar**

Diferencia de circunferencia de brazo izquierdo de 5 mm

Pleantocopia: **Normal**

**Electrocardiografía**

Frecuencia cardíaca en reposo: **66** Ritmo: **Sinusal** Trazo: **Normal en Deportista**

Diagnóstico: **Ritmo sinusal**  
 Bloqueo incompleto de rama derecha del haz de His  
 Testeamos en la reposición.

**Espirometría**

Capacidad y volúmenes pulmonares	Valores reales	Valores ideales	% entre valores real e ideal
Capacidad vital forzada (L)	5.70	5.40	104
FEV1 (L)	4.40	4.37	97.16
FEF 25-75% (L)	3.80	4.91	74

Recomendaciones: **Seguimiento médico periódico.**

Observaciones: **Normal Capacidad y flujo pulmonares adecuados para edad, sexo y deporte.**

**Pruebas bioquímicas**

Pruebas	Valores	Unidades	Valores Normales
Hemoglobina	18.0	g/dl	15 - 18.00+ NORMALES
Hematocrito	48	%	45 - 54.50+ NORMALES
Glucosa	87	mg/dl	70 - 100+ NORMALES
Colesterol	160	mg/dl	80 - 180+ NORMALES
Triglicéridos	75	mg/dl	40 - 150+ NORMALES
Acido úrico	4.4	mg/dl	2 - 6.50+ NORMALES

Todos sus resultados dentro de rangos normales.

Informe en: <http://deportes.unam.mx> en la sección [Atención médica] Page 1 of 4

\*Por confidencialidad de la información se borraron datos de identificación



Reporte Integral-Evaluación Morfofuncional

Nombre:		Sexo:	MASCULINO	Tipo:	Estudiante
---------	--	-------	-----------	-------	------------

Ergometría		Prueba de esfuerzo	MAXIMAL
Protocolo usado	Brincos-Banda		
Tiempo total de la prueba		15, 18 seg	La prueba se suspendió por:
Frecuencia Cardíaca Máxima Alcanzada		190 por minuto	Fatiga muscular
Frecuencia C máxima Teórica		192	
% FC máxima Teórica		96.96	
Alcanzó un consumo máximo de oxígeno de		56.02 ml/kg/min	
Su consumo de Oxígeno ideal es de		60-65 ml/kg/min	
Reducción funcional aeróbica de		10.37	
Respuesta cronotrópica		9.0	
Respuesta presión		Plana	
Índice de eficiencia metabólica		7.42	
Trazo electrocardiográfico		Negativo	

Paciente masculino de 28 años de edad con riesgo bajo.  
 Se realiza prueba de esfuerzo convencional con el protocolo de brincos, maximal por FC (96%) y Borg 17.  
 Su capacidad aeróbica adecuada para su edad y sexo, así como disminuida para deporte siendo comparado con los ideales internacionales.  
 Respuesta cronotrópica adecuada y presión plana  
 Recuperación adecuada, recuperación de 50 lpm al minuto 2, se egresa al mín 10 con una FC de 86 lpm.  
 Adaptación cardiovascular regular, sin alteraciones electrocardiográficas durante la prueba y recuperación.

- \*\*\*INDICACIONES\*\*\*
- Ajustar sus cargas de trabajo de acuerdo a las metas propuestas para la etapa de entrenamiento en que se encuentra.
  - Mantener un equilibrio entre el esfuerzo y pausas de recuperación para evitar el desarrollo de un síndrome de sobre-entrenamiento
  - No suspender la actividad física por más de 72 hrs. ya que en este tiempo se inicia la pérdida de las adaptaciones al esfuerzo.
  - Cita de control ergométrico de acuerdo a su plan de entrenamiento

Dr. Agustín Eduardo Aguilar Martínez MAFyO

Nutrición				Su dieta es	insuficiente
Consumo actual		Consumo recomendado			
Proteínas	95 gr	Proteínas	113 gr	Disminuir su consumo de alimentos de los grupos de	
Hidratos de Carbono	282 gr	Hidratos de Carbono	419 gr		
Lípidos	90 gr	Lípidos	90 gr	Incrementar el consumo de alimentos de los grupos de	
Hiccolorías	2,350	Hiccolorías	2,996	Cereales, Frutas	

Biomecánica			
Índice de Fuerza:	15.80	Centro de gravedad:	0.00%
Salto vertical/mecánico:	31.00 cm REGULAR	Selección de opción:	EXCELENTE
Salto lego/electrónico:	225.00 cm	Promedio Flexibilidad:	4 -MUY BIEN

Observaciones: El evaluado presenta fuerza simétrica en miembros superiores, con fuerza adecuada en abdominales y extensoras, Buena flexibilidad de hombro y regular mano, Buena flexibilidad de isquiotibiales y buena en cadera.

Psicología			
Velocidad de reacción auditiva:	99 ms EXCELENTE	Velocidad de reacción visual:	122 ms EXCELENTE

Observaciones: Se entiende por velocidad de reacción, de un sujeto en evaluación el tiempo que transcurre entre la emisión de un estímulo visual, acústico o por contacto y una respuesta motora a ese estímulo. En la mayoría de los deportes, la velocidad de reacción es muy importante, el tiempo que transcurre para la respuesta, se mide. Lo que nos informa sobre la capacidad funcional y se relaciona con la habilidad del sujeto y la experiencia de las pruebas. Su velocidad de reacción es EXCELENTE Y EXCELENTE si requiere más información podrá cita en PSICOLOGÍA.

\*Por confidencialidad de la información se borraron datos de identificación

Nombre:		Sexo: MASCULINO	Tipo: Estudiante
---------	--	-----------------	------------------



Odontología

Presenta caries en 2dos molares superiores, hay serra, mal posición dental.  
Plan de tratamiento: atender caries, realizar profilaxis (limpieza dental) extracciones indicadas de 3eros molares superiores, 3er molar inferior lado derecho, valoración ortodóncica.

\*Por confidencialidad de la información se borraron datos de identificación

Reporte Integral-Evaluación Morfofuncional

Nombre:		Sexo: MASCULINO	Tipo: Estudiante
---------	--	-----------------	------------------



Diagnóstico Integral

romsly1@live.com.mx

\*\*\*EVALUACIÓN MORFOFUNCIONAL DIAGNOSTICO INTEGRAL\*\*\*

NOTA: LAS CONCLUSIONES, INDICACIONES Y CONTRAINDICACIONES QUE A CONTINUACIÓN SE PRESENTAN, FUERON HECHAS CON BASE A LOS DATOS MANIFESTADOS POR USTED, A LOS RESPONSABLES DE LOS DIFERENTES LABORATORIOS Y A LA INTERPRETACION QUE ELLOS REALIZARON. POR TANTO DEPENDEN DE LA CERTEZA DE SUS COMENTARIOS.

DEPORTE: NATACION

Objetivo de la evaluación: Acude para conocer su estado de salud y su capacidad física

\*\* ESTADO DE SALUD \*\*

•HISTORIA CLÍNICA.- Cuenta con antecedentes HF para enfermedades cardiovasculares y metabólicas Antecedentes Personales: No refiere sintomatología

•ANTROPOMETRÍA.- Requiere bajar masa grasa 2.56 Kg y aumentar masa muscular 3.86 kg, se sugieren controles antropométricos periódicos  
Muestra asimetría de algunas circunferencias, por lo que se sugiere ajustar sus ejercicios de fuerza, (aumentar 1 serie de repeticiones en los ejercicios de fuerza que realiza para la región marcada como asimétrica).

•ELECTROCARDIOGRAMA.- Con cambios considerados apropiados

•ESPIROMETRÍA.- Adecuada

•PRUEBAS BIOQUÍMICAS.- los valores obtenidos son adecuados  
Se sugiere control bioquímico en 6 meses previa corrección de hábitos dietéticos.

•ODONTOLOGÍA.- Requiere atención para evitar el desarrollo de complicaciones y valoración por Ortodoncia

•NUTRICIÓN.- Modificar hábitos dietéticos y de hidratación de acuerdo a la prescripción realizada.  
Requiere llevar un seguimiento periódico. Para solicitar cita comunicarse con la Lic. Rebeca Camacho al, 56-22-05-40 o al 56-22-05-43 ext 40225.O al correo adelgazarconsalud@live.com.mx

•PSICOLOGÍA.- Falta concentración, se sugieren ejercicios de relajación y mejorar su concentración. Si desea seguimiento de psicología, concertar cita al correo electrónico: psico\_jovita@hotmail.com

\*\* ÁREA DEPORTIVA \*\*

•PRUEBA DE ESFUERZO.- Capacidad aeróbica adecuada para su edad y sexo. Para el deporte es incorrecta, siendo comparada con ideales de nivel competitivo internacional, adaptación cardiovascular regular, No se observan alteraciones en el Trazo electrocardiográfico de esfuerzo.

•BIOMECÁNICA.- Fuerza bien, se aprecia asimetría en la fuerza a expensas de menores valores en cuádriceps izquierdo de 13 kg  
Para lograr un desarrollo armónico y simétrico de su masa muscular ajustar sus cargas de trabajo de fuerza, aumentando 1 serie de repeticiones en la zona marcada como asimétrica.  
Flexibilidad inadecuada para el deporte  
Potencia anaeróbica deficiente, falta potencia principalmente en miembros inferiores

\*\*\*Recomendaciones para su entrenamiento\*\*\*

- Incluir un calentamiento de 15 a 20 min para evitar el desarrollo de lesiones músculo-tendinosas
- Aumentar su trabajo aeróbico ya que es básico para conservar su rendimiento deportivo y presentar una buena recuperación
- Ajustar sus cargas de trabajo de fuerza muscular de acuerdo a lo referido en antropometría y biomecánica para lograr un desarrollo armónico, simétrico y apropiado a las exigencias de su deporte
- Su fase de enfriamiento deberá incluir ejercicios de flexibilidad (de 15 a 20 min) para evitar el desarrollo de lesiones músculo-esqueléticas
- Mantener un equilibrio entre su entrenamiento, periodos de descanso (al menos 8 hrs de sueño) y fases recuperación para evitar el desarrollo de un síndrome de sobreentrenamiento
- Considerar que la actividad física no debe suspenderse por más de 72 hrs. ya que en éste tiempo se inicia la pérdida de los efectos del entrenamiento.

C O N C L U S I O N E S

\*\*\*APTO CON RECOMENDACIONES\*\*\*

Puede para realizar ejercicio físico y/o actividad deportiva, sin embargo, debe cumplir las recomendaciones emitidas

•Se sugiere realizar la evaluación morfofuncional de forma semestral

•En caso de dudas comunicarse al 56-22-05-40 ó 43 de 7 a 13 hrs, o al correo electrónico diagnostico.integral.unam@gmail.com

Sistema de evaluación morfofuncional\_ SIEM\_ versión 2010

Termina reporte ---->

Informes en: <http://deportes.unam.mx> en la sección [Atención médica]

Page 4 of 4

\*Por confidencialidad de la información se borraron datos de identificación

## ANEXO 4: Indicaciones para estudios morfofuncionales

### Indicaciones para los voluntarios

**“Efecto de la *Spirulina maxima* como suplemento alimenticio sobre el rendimiento físico y el estado antioxidante en varones deportistas (nadadores)”**

Fecha de Realización:

#### • Indicaciones para la evaluación morfofuncional

1. Asistir puntualmente, a las 7:30 hrs.
2. Es obligatorio presentar copia del CURP.
3. Los menores de 18 años deberán asistir con padre o tutor.
4. Si requirió preconsulta (mayores de 35 años), favor de traer sus exámenes.
5. Los varones con vello abundante en el pecho favor de rasurarse un día antes.
6. No haber fumado ni tomado bebidas alcohólicas 24 hrs. Antes de la evaluación.
7. No realizar ejercicio intenso un día antes.
8. En traje deportivo: tenis, short, traje de baño lo más pequeño posible, mujeres de dos piezas o top y short holgado, NO-BERMUDA, toalla de baño pequeña y sandalias.
9. Haber dormido bien la noche anterior.
10. No aplicarse cremas o aceites en manos o pies.
11. Presentarse en ayuno de 8 hrs, mínimo.
12. Traer refrigerio, (jugo, fruta, yoghurt y un emparedado).
13. Haberse bañado, con aseo bucal, traer cepillo y pasta dental.
14. Notificar el uso de medicamentos o complementos alimenticios y presentarlos.
15. Si es universitario presentar credencial vigente.
16. En caso de presentar alguna enfermedad aguda (infecciones, lesiones del aparato locomotor), solicitar una nueva cita a los teléfonos 56-22-05-40 ó 56-22-05-43.
17. Si usa lentes de contacto o anteojos traerlos.
18. Los estudiantes presentar credencial vigente o de exalumnos
19. No traer objetos de valor ya que en caso de pérdida, NO se hace responsable la DMD.
20. En caso de que NO CUMPLA con los requisitos señalados, NO se realizará la evaluación.

## ANEXO 5: NOTA DE INGRESO

<b>NOTA DE INGRESO</b>	
<b>“Efecto de la <i>Spirulina maxima</i> como suplemento alimenticio sobre el rendimiento físico y el estado antioxidante en varones deportistas (nadadores)”</b>	
<b>Nombre:</b>	
<b>Clave:</b>	

<b>Peso:</b>	<b>Talla:</b>	<b>IMC:</b>	<b>T.A:</b>	<b>F.C:</b>
--------------	---------------	-------------	-------------	-------------

Diagnóstico Historia Clínica:
-------------------------------

Nutrición			
Consumo Actual		Consumo Recomendado	
Proteínas		Proteínas	
Hidratos de Carbono		Hidratos de Carbono	
Grasas		Grasas	
Kilocalorías		Kilocalorías	

## ANEXO 6: Formatos de criterios de inclusión y exclusión

<b>CRITERIOS DE INCLUSIÓN</b>
“Efecto de la <i>Spirulina maxima</i> como suplemento alimenticio sobre el rendimiento físico y el estado antioxidante en varones deportistas (nadadores)”
<b>Nombre:</b>
<b>Clave:</b>

Criterio	Cumple	No Cumple
1.- Aceptar participar en el estudio mediante la firma del consentimiento informado		
2.- Sexo Masculino		
3.- Clínicamente Sano		
4.- Apto para realizar actividad física		
5.- Miembro del equipo representativo de la UNAM.		
6.- Disponibilidad de tiempo para asistir a las pruebas morfofuncionales y deportivas en los días que se le indique.		
7.- Disponibilidad para cumplir indicaciones durante el periodo de estudio		
8.- Compromiso de asistir a los entrenamientos programados y seguir la dieta que se le recomiende.		

<b>Observaciones:</b>
-----------------------

<b>CRITERIOS DE EXCLUSIÓN</b>
<b>“Efecto de la <i>Spirulina maxima</i> como suplemento alimenticio sobre el rendimiento físico y el estado antioxidante en varones deportistas (nadadores)”</b>
<b>Nombre:</b>
<b>Clave:</b>

Criterio	Si	No
1.- Sujeto con hábito de tabaquismo		
2.- Sujeto con ventilación pulmonar disminuida (No apto para la actividad física)		
3.- Sujeto con alergia a la <i>Spirulina</i> en cualquiera de sus variedades		
4.- Sujeto que haya participado en algún estudio clínico en los últimos seis meses o se encuentre participando en algún protocolo de investigación.		
5.- Sujetos que realicen actividad física adicional a la indicada por el entrenador del equipo representativo		

<b>Observaciones:</b>
-----------------------

## ANEXO 7: Formato de reporte de caso (CRF)

FORMATO DE REPORTE DE CASO "Efecto de la <i>Spirulina maxima</i> como suplemento alimenticio, sobre el rendimiento físico y el estado antioxidante en varones deportistas (nadadores)"	
Dosis/Formulación: tabletas 0.5 gr	Condiciones de la administración: 4 tabletas 3 veces al día por 3 meses

Nombre:		Clave:		Periodo:		Tratamiento:	
Peso:	Talla:	Cintura:	Cadera:	IMC:	ICC:	ICA:	

PRUEBA DE COOPER						
T PRUEBA	VO2MAX	FC BASAL	FC MAX TEORICA	FC MAX ALCANZADA		
RECUPERACIÓN	FC 1 MIN	FC 3MIN	FC 5 MIN	FC 10 MIN		
PRUEBAS BIOQUIMICAS						
HB (g/dl)	HTO (%)	GLU (mg/dl)	COL (mg/dl)	TAG (mg/dl)	COL-HDL (mg/dl)	LIP TOT (mg/dl)
CAT (k/ml)	SOD (u/ml)	GPX	GLUTATION	TBAR (ug/ml)		
VELOCIDAD CRITICA DE LA NATACION						
200 m (MIN:SEG:CSEG)	400 m (MIN:SEG:CSEG)	VCN (m/s)				
T 300 (MIN:SEG:CSEG)						
PREVIA 100%	85%	90%	95%	100%		
LACTATO (mmol/l)						
BASAL	85%	90%	95%	100%		
GLUCOSA (mg/dL)						
BASAL	85%	90%	95%	100%		



## ANEXO 8: Formatos de encuesta y seguimiento

### Encuesta de seguimiento semanal

**“Efecto de la *Spirulina maxima* como suplemento alimenticio sobre el rendimiento físico y el estado antioxidante en varones deportistas (nadadores)”**

NOMBRE \_\_\_\_\_

CLAVE \_\_\_\_\_ FECHA \_\_\_\_\_ SEMANA \_\_\_\_\_

Elije la opción que más se acerque a lo sucedido durante la semana y escribe la letra que corresponda en el paréntesis.

#### **1.- Seguí el tratamiento... ( )**

- a) 4 tabletas con cada comida TODOS los días
- b) 12 tabletas al día, TODOS los días distribuidas en diferente orden de cómo me indicaron (4 tabletas con cada comida).
- c) 12 tabletas al día, pero OLVIDÉ 1 o hasta 3 dosis durante la semana.
- d) 12 tabletas al día, pero OLVIDÉ más de 3 dosis durante la semana.
- e) No seguí el tratamiento durante la semana

#### **2.- Seguí las indicaciones (dieta) de mi nutriólogo... ( )**

- a) TODOS los días
- b) De 6 a 5 días a la semana
- c) De 4 a 2 días de la semana
- d) No seguí la dieta.

**Describe lo que comiste los días que no cumpliste con la dieta:** \_\_\_\_\_

---

---

---

---

---

---

---

---

**3.- Durante el consumo del tratamiento, en ésta semana, describe cualquier diferencia que  
hayas observado** \_\_\_\_\_

---

---

---

Dosis/Formulación: tabletas 0.5 gr	Condiciones de la administración: 4 tabletas 3 veces al día por 3 meses
------------------------------------	---

Nombre:	Clave:	Tratamiento:
---------	--------	--------------

Semana	Consumo del tratamiento	Seguimiento de la dieta
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		

<p><b>TRATAMIENTO</b></p> <p>a) 4 tabletas con cada comida TODOS los días</p> <p>b) 12 tabletas al día, TODOS los días distribuidas en diferente orden de cómo me indicaron (4 tabletas con cada comida).</p> <p>c) 12 tabletas al día, pero OLVIDÉ 1 o hasta 3 dosis durante la semana.</p> <p>d) 12 tabletas al día, pero OLVIDÉ más de 3 dosis durante la semana.</p> <p>e) No seguí el tratamiento durante la semana</p>	<p><b>DIETA</b></p> <p>a) TODOS los días</p> <p>b) De 6 a 5 días a la semana</p> <p>c) De 4 a 2 días de la semana</p> <p>d) No seguí la dieta.</p>
--	--


## ANEXO 9: Formato de criterios de eliminación

<b>CRITERIOS DE ELIMINACIÓN</b>
<b>“Efecto de la <i>Spirulina maxima</i> como suplemento alimenticio sobre el rendimiento físico y el estado antioxidante en varones deportistas (nadadores)”</b>
<b>Nombre:</b>
<b>Clave:</b>


Criterio	Si	No
1.- Adherencia inadecuada al tratamiento. Cuando no se siga el tratamiento de acuerdo a las indicaciones proporcionadas por el entrenador, encargado del proyecto y/o médico encargado de la Dirección General de Medicina del Deporte.		
2.- Cambio drástico en la dieta		
3.- Que realicen entrenamientos adicionales a los del grupo.		
4.- EA (evento adverso), causado directamente por el producto.		
5. Condición física o enfermedad ajena al producto prueba, que limite al sujeto continuar en el estudio		
6.- Que no asistan a las pruebas morfofuncionales y/o deportivas		

Observaciones:
----------------

# ANEXO 10: Formato de evaluación de antropometría



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**DIRECCIÓN DE MEDICINA DEL DEPORTE**  
**LABORATORIO DE ANTROPOMETRIA**



Nombre:		Sexo:		Fecha: / /	
F. Nacimiento: / /		Edad:	Peso:	Talla:	Deporte:
Pos/Prue/Espec:			Hrs/sem:	Días/sem:	Antigüedad:
Perio/entren:		Otra actividad deportiva:		Hrs/sem:	
Entrenador:			Marcas importantes:		
Observaciones:					

Todas las medidas se registran en milímetros

ANCHURAS		
	Derecho	Izquierdo
Humeral		
Biestilión		
Femoral		

CIRCUNFERENCIAS	
Tórax en reposo	
Tórax inspiración máx.	
Tórax espiración máx.	
Elasticidad torácica	
Abdomen: 2	

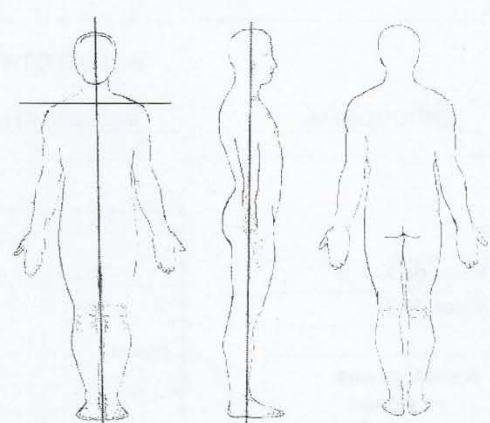
	Relajación	Contracción
Brazo der.		
Brazo izq.		
Antebrazo		
Muslo der.		
Muslo izq.		
Pant. Der.		
Pant. Izq.		

PLIEGUES	
Subescapular	
Tríceps	
Bíceps	
Antebrazo	
Pectoral	
Axilar	
Abdominal	
Suprailíaco	
Muslo	
Pantorrilla	

LONGITUDES	
Miembro Torácico Der.	
Miembro Torácico Izq.	
Miembro Pélvico Der.	
Miembro Pélvico Izq.	

**SOMATOSCOPIA:**

---

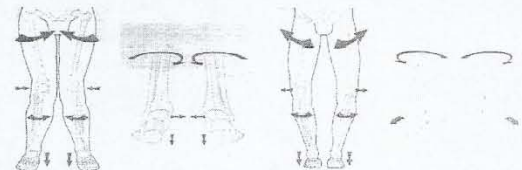
---

---

---

---

---

**PLANTOSCOPIA**

---




---

---

---

---

---

## RESULTADOS

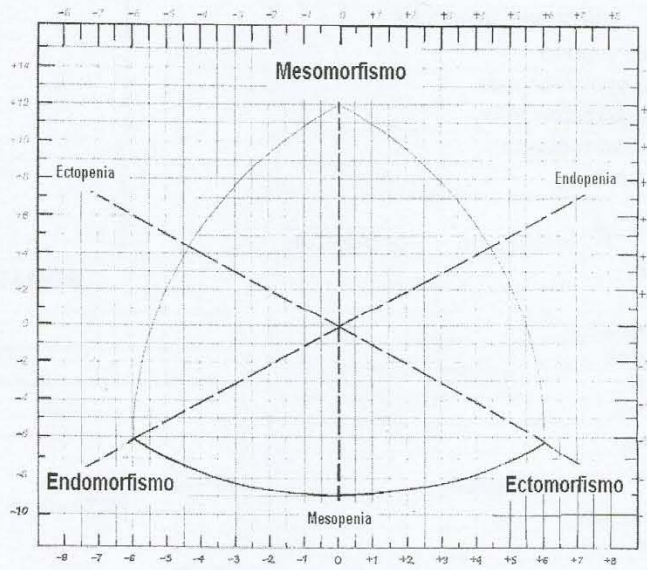
Ecuación:					
Peso Actual		Kg.	Peso recomendable		Kg.
Grasa Actual		%	Grasa recomendable		%
Masa Ósea		%	Músculo recomendable		%
Masa Visceral		%			
Músculo Actual		%	Recomendaciones para fase		
Excedente de Grasa		Kg.	Peso		Kg.
Déficit Muscular		Kg.	Excedente de Grasa		Kg.
Sobrepeso		%	Déficit Muscular		Kg.
IMC					

## SOMATOTIPO

ENDOMORFIA	MESOMORFIA	ECTOMORFIA

Valor de X:
Valor de Y:

Somatograma:
• Actual
* Ideal



$X = \text{Ect} - \text{End}$
$Y = 2 M - (\text{End} + \text{Ect})$

## COMENTARIO FINAL


Medidor	Anotador

# ANEXO 11: Formato de evaluación de ergometría



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
LABORATORIO DE ERGOMETRIA



PROTOCOLO DE BRUCE (X) BRUCE MODIFICADO ( ) No. T 2

NOMBRE \_\_\_\_\_ SEXO M EDAD 7 FECHA 21/01/15  
 DEPORTE Natación ANTIGÜEDAD 6 AÑOS FCIA/SEM 4/3 HRS  
 FC ECG 70' DX ECG 1ª vez  
 MOTIVO DE LA PRUEBA \_\_\_\_\_  
 AHF Nil (-) HTA (-) Ca (-)  
 TOMA DE TA \_\_\_\_\_

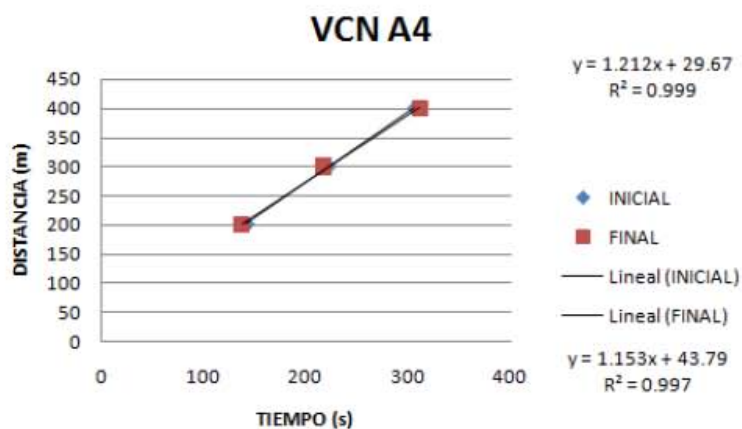
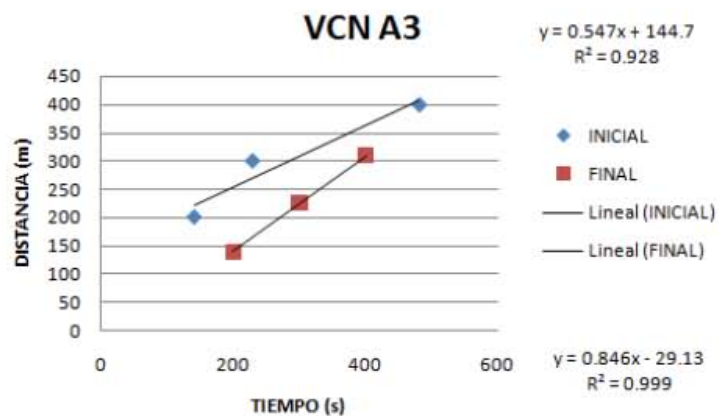
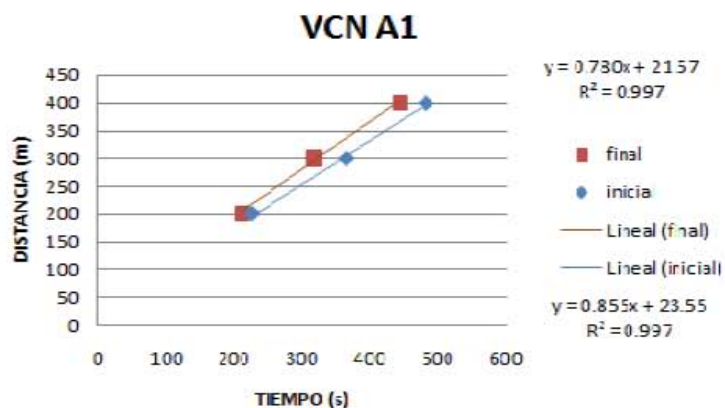
ETAPA	TIEMPO	MPH	% INCL	FC	TA	VO2	AC LACI
Reposo	0	0	0	70	90/50		
1	3	1.7	0	8	8		
2	3	1.7	5				
1	3	1.7	10	116	110/50		9
2	3	2.4	12	132	120/50		12
3	3	3.4	14	171	122/50		13
4	3	4.2	16	200	130/50		15
5	3	5.0	18				
6	3	5.5	20				
7	3	6.0	22				
Recuperación	1 min			150	110/70		
	3 min			120 / 118	100 / 60		
	5 min			108	100/50		
	10 min			105	90/50		
	15 min						

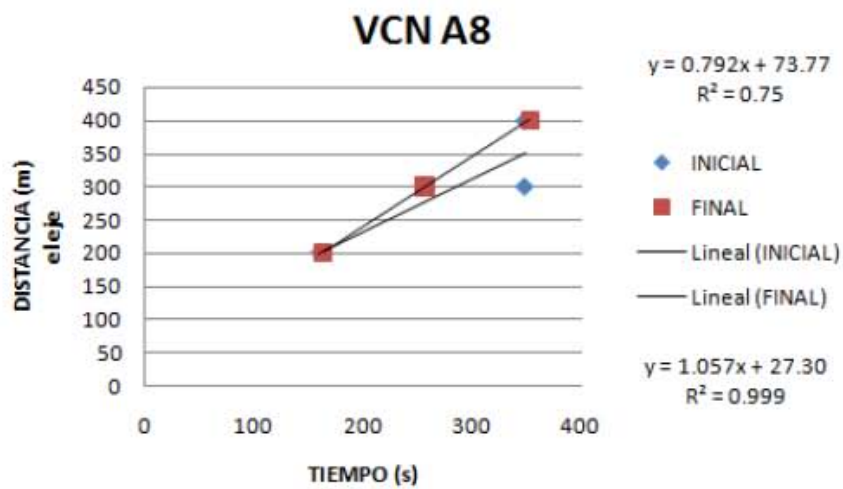
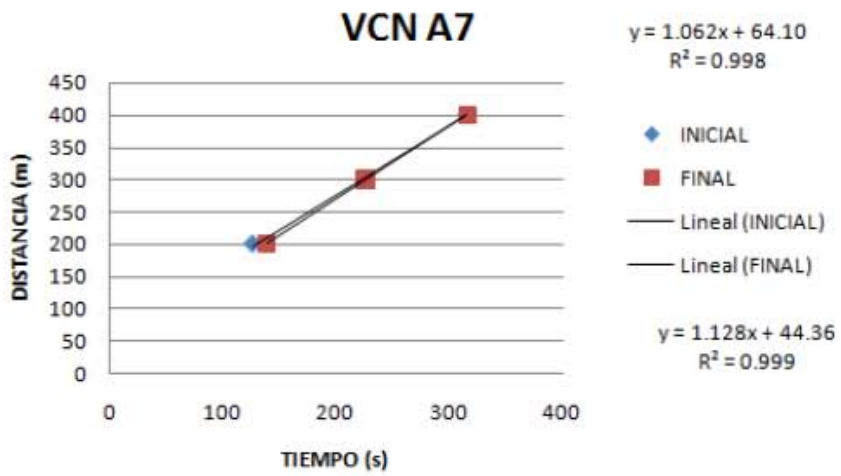
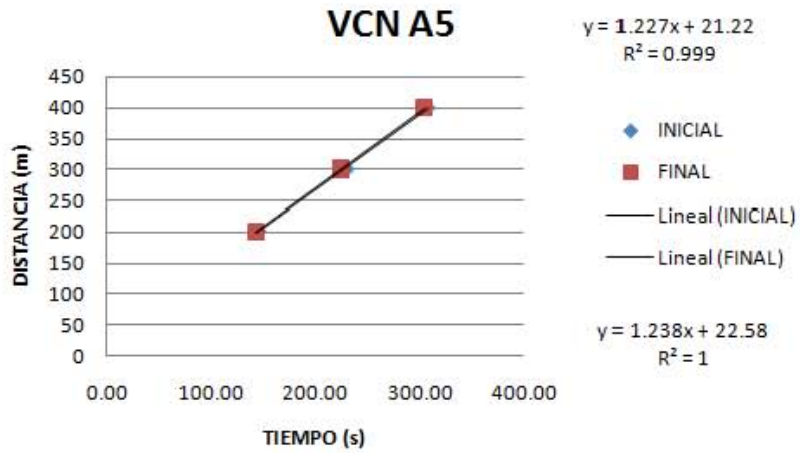
TIEMPO TOTAL 12 Min 0' seg FCMT 211 FC 85% 179 FC 90% 189  
 VO2 45 ml/kg/min IEM 6.64 HB \_\_\_\_\_  
 FC MAX AL CANZADA 200 DP 26000 HTO \_\_\_\_\_  
 % FC ALCANZADA 99 METS 12.95 GLUC \_\_\_\_\_  
 RES PRES 3.09 RES CRONO 10.04 COL \_\_\_\_\_  
 MOTIVO DE SUSPENSION Fatiga Muscular TG \_\_\_\_\_  
 AU \_\_\_\_\_  
 OBSERVACIONES: Alergias (-)  
Sintomas (-)

\*Por confidencialidad de la información se borraron datos de identificación



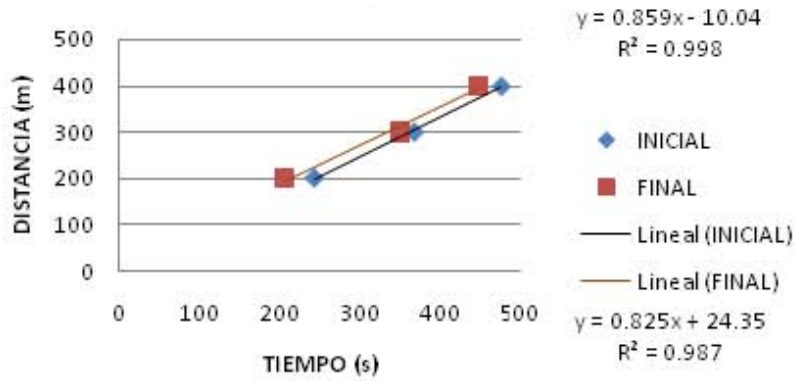
## ANEXO 12: Velocidad Crítica de la Natación (VCN). Cálculo



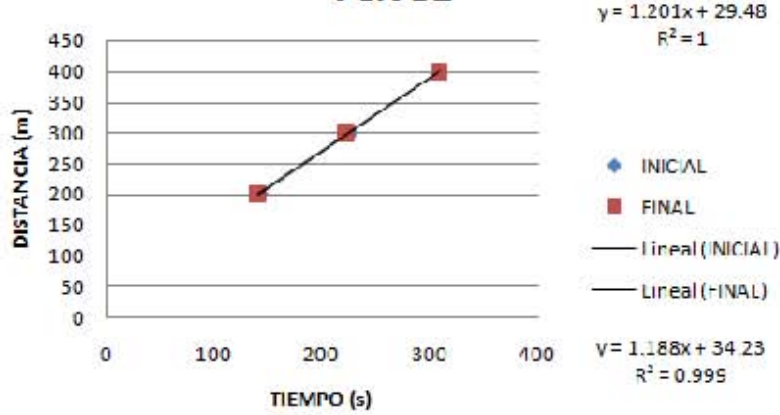




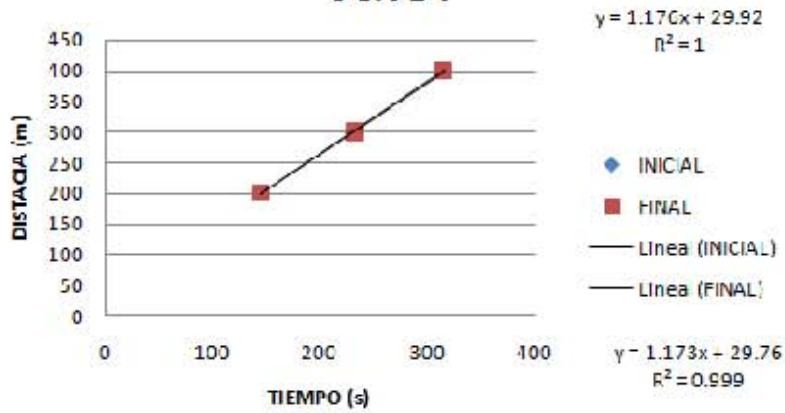
### VCN B1

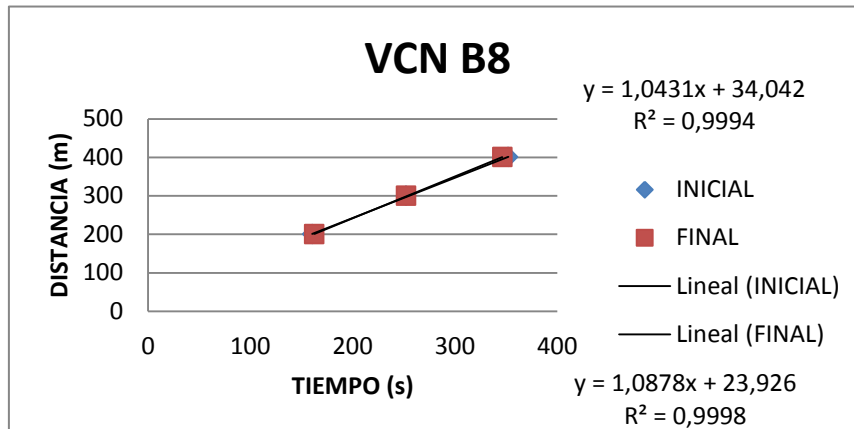
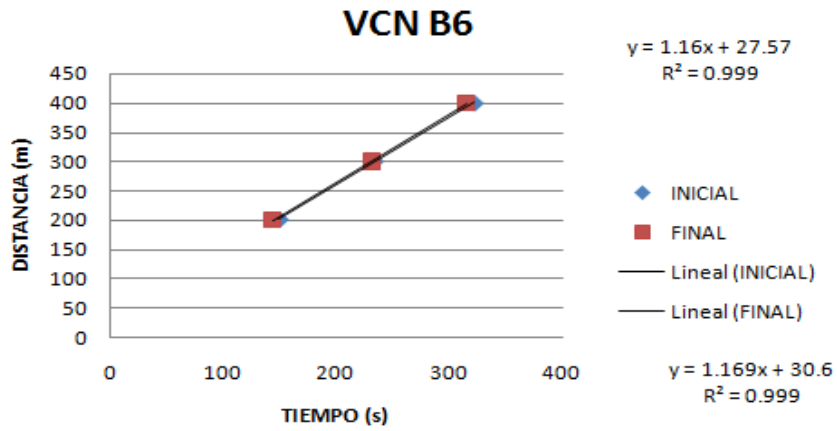
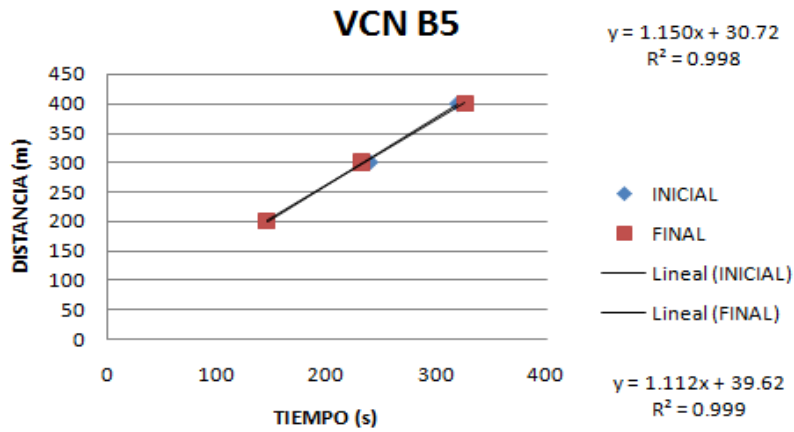


### VCN B2

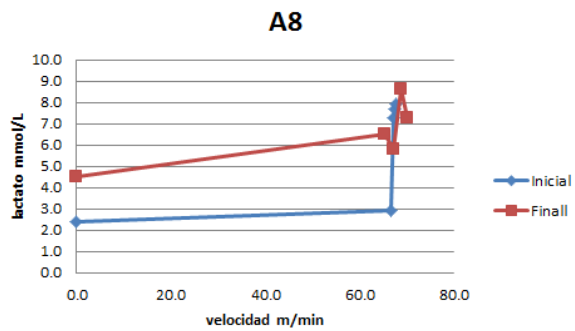
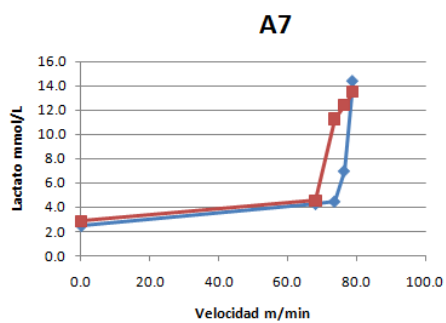
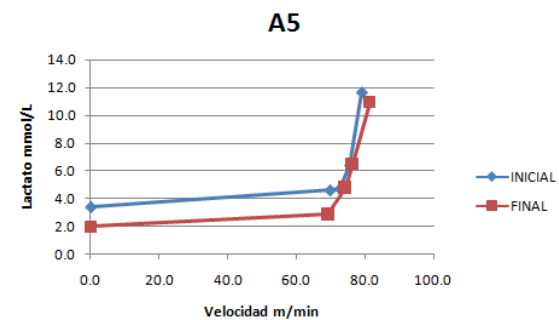
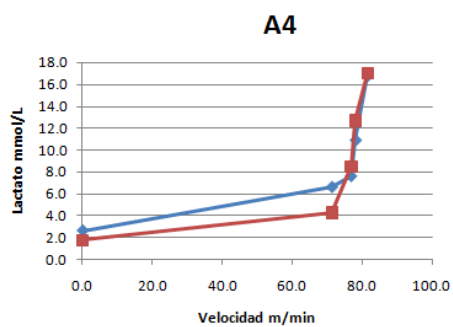
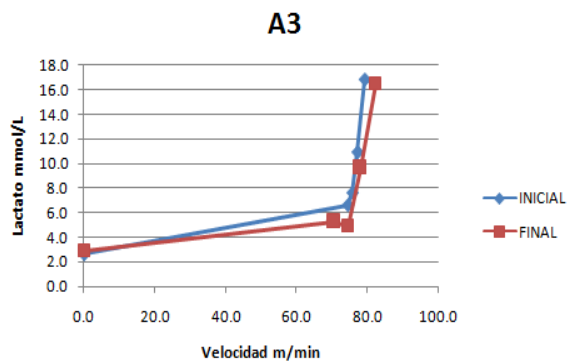
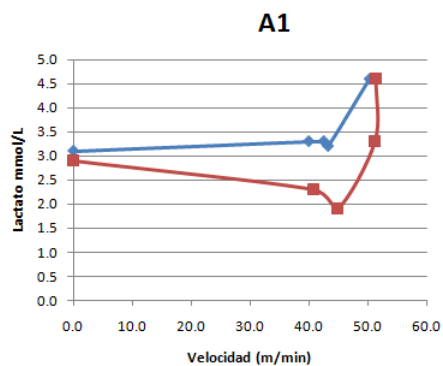


### VCN B4

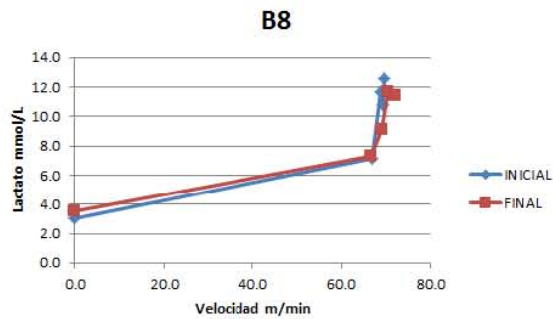
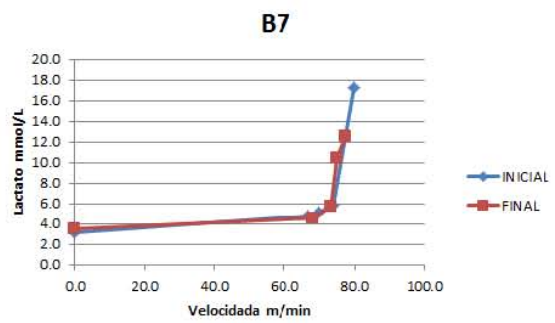
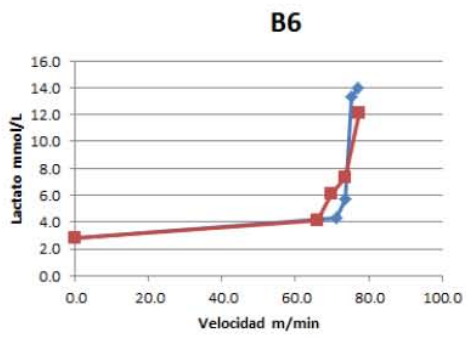
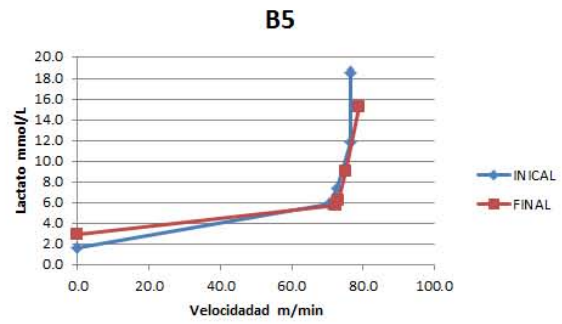
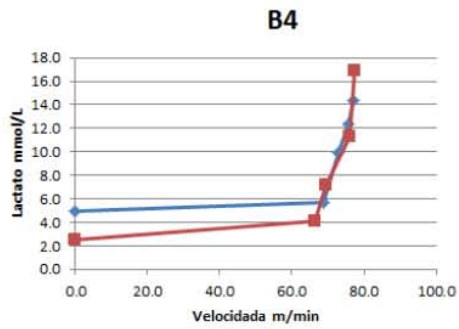
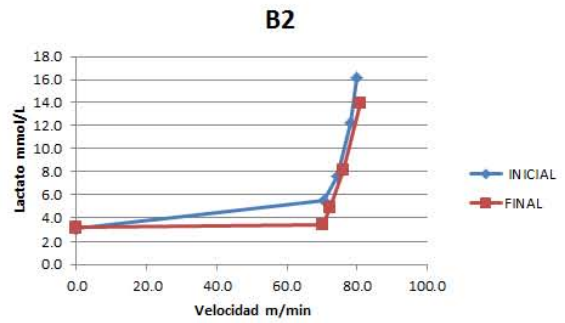
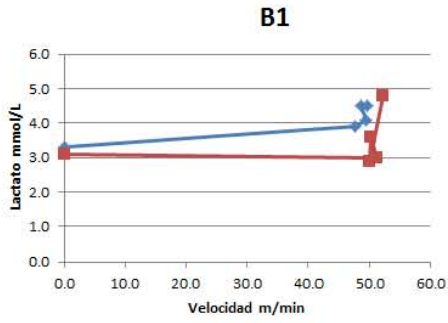




## ANEXO 13: Gráficas Lactato pruebas progresivas



Grupo A: Tratado con Spirulina



## ANEXO 14: Frecuencia Cardíaca de Recuperación e IRFC

		INICIALES				FINALES			
		Fct MIN 1	Fct MIN 3	Fct MIN 5	Fct MIN 10	Fct MIN 1	Fct MIN 3	Fct MIN 5	Fct MIN 10
Spirulina	A1	150.00	120.00	118.00	105.00	164.00	126.00	103.00	101.00
	A3	157.00	139.00	107.00	102.00	175.00	130.00	116.00	109.00
	A4	162.00	136.00	130.00	109.00	142.00	108.00	107.00	95.00
	A5	184.00	164.00	128.00	110.00	180.00	148.00	130.00	120.00
	A7	151.00	139.00	122.00	122.00	157.00	130.00	109.00	108.00
	A8	150.00	129.00	109.00	103.00	155.00	117.00	106.00	96.00
Placebo	B1	160.00	148.00	137.00	116.00	169.00	137.00	112.00	108.00
	B2	164.00	144.00	122.00	98.00	164.00	122.00	96.00	NR
	B4	171.00	148.00	136.00	107.00	173.00	139.00	121.00	115.00
	B5	171.00	148.00	141.00	107.00	173.00	108.00	88.00	86.00
	B6	160.00	131.00	121.00	106.00	146.00	107.00	94.00	82.00
	B7	169.00	148.00	130.00	117.00	144.00	120.00	108.00	104.00
	B8	176.00	139.00	116.00	108.00	151.00	115.00	95.00	95.00
		NR= No reportado							

Tabla de valores de Frecuencia cardíaca de recuperación a los tiempos 1,3,5 y 10 (lat/min)

		INICIALES		FINALES	
		FCmt	FCma	FCmt	FCma
Spirulina	A1	211	200	210	186
	A3	204	190	204	200
	A4	200	196	200	181
	A5	197	196	197	200
	A7	205	200	204	200
	A8	207	193	202	190
Placebo	B1	210	197	209	200
	B2	206	200	205	176
	B4	201	198	200	196
	B5	192	198	192	190
	B6	202	196	202	184
	B7	203	200	203	190
	B8	207	207	207	196

Tabla de valores de Frecuencia cardiaca máxima teórica (FC<sub>mt</sub>) y máxima alcanzada FC<sub>ma</sub>) (lat/min)

$IRFC = \frac{FC_{ma} - FC_t}{FC_{mt} / FC_{ma}}$		INICIALES				FINALES			
		IRFC MIN 1	IRFC MIN 3	IRFC MIN 5	IRFC MIN 10	IRFC MIN 1	IRFC MIN 3	IRFC MIN 5	IRFC MIN 10
Spirulina	A1	47.39	75.83	77.73	90.05	19.49	53.14	73.51	75.29
	A3	30.74	47.50	77.30	81.96	24.51	68.63	82.35	89.22
	A4	33.32	58.80	64.68	85.26	35.30	66.07	66.97	77.83
	A5	11.94	31.84	67.65	85.56	20.30	52.79	71.07	81.22
	A7	47.80	59.51	76.10	76.10	42.16	68.63	89.22	90.20
	A8	40.09	59.67	78.32	83.91	32.92	68.66	79.01	88.42
Placebo	B1	34.71	45.97	56.29	75.99	29.67	60.29	84.21	88.04
	B2	34.95	54.37	75.73	99.03	10.30	46.36	68.68	NC
	B4	26.60	49.25	61.07	89.64	22.54	55.86	73.50	79.38
	B5	27.84	51.56	58.78	93.84	16.82	81.15	100.94	102.92
	B6	34.93	63.07	72.77	87.33	34.61	70.14	81.98	92.91
	B7	30.54	51.23	68.97	81.77	43.05	65.52	76.75	80.49
	B8	31.00	68.00	91.00	99.00	42.61	76.70	95.63	95.63
	NC = No calculado								

Tabla de valores IRFC a los tiempos 1,3,5 y 10 (lat/min) calculados mediante la fórmula de Lamiel-Luengo (esquina superior izquierda de la tabla)

		DELTA IRFC MIN 1	DELTA IRFC MIN 3	DELTA IRFC MIN 5	DELTA IRFC MIN 10
Spirulina	A1	-27.91	-22.69	-4.21	-14.76
	A3	-6.23	21.13	5.05	7.25
	A4	1.97	7.27	2.29	-7.43
	A5	8.37	20.95	3.41	-4.35
	A7	-5.65	9.12	13.12	14.10
	A8	-7.17	8.99	0.69	4.50
Placebo	B1	-5.04	14.32	27.92	12.05
	B2	-24.65	-8.01	-7.05	NC
	B4	-4.06	6.61	12.43	-10.26
	B5	-11.02	29.58	42.16	9.07
	B6	-0.32	7.07	9.21	5.58
	B7	12.51	14.29	7.78	-1.28
	B8	11.61	8.70	4.63	-3.37
		NC = No calculado			

Tabla de valores de Delta de IRFC a los tiempos 1,3,5 y 10 (lat/min)

Baynes, J. W. D., Marek H. (2011). *Bioquímica Médica* (E. Elsevier Ed. 3a Ed. ed.): Elsevier España.

Bowers-Richard W, F.-E. L. (1995). *Fisiología del deporte*: Editorial Panamericana.

Imaz, I. A. (2013). *COMPARACIÓN DE DIFERENTES MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DEL UMBRAL ANAERÓBICO INDIVIDUAL Y SU EQUIVALENCIA CON EL MÁXIMO ESTADO ESTABLE*. (Doctoral), Universidad del País Vasco, FACULTAD DE CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEL DEPORTE.

José María Villalón, A. L. F. (2009). El corazón del Deportista. In F. BBVA (Ed.), *Libro de la salud cardiovascular del Hospital Clínico de San Carlos y de la fundación BBVA*

(pp. 597-604). Bilbao: Fundación BBVA.

Martínez-Sanz, J. M., Mielgo-Ayuso, J., & Urdampilleta, A. (2012). Composición corporal y somatotipo de nadadores adolescentes federados. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 16(4), 130-136.

Tresguerres, J. A. F. (2005). *Fisiología Humana* (Tercera Edición ed.): MC Graw Hill Interamericana.

Urdampilleta Aritz, M.-S. J. M., Cejuela Roberto. (2012). Indicadores del rendimiento deportivo: aspectos psicológicos, fisiológicos, bioquímicos y antropométricos<sup>17</sup>. Retrieved from <http://www.efdeportes.com/efd173/indicadores-del-rendimiento-deportivo.htm>