

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
FACULTAD DE MEDICINA  
ESCUELA DE KINESIOLOGIA

# **EFECTO DEL EJERCICIO ANAERÓBICO Y DE LA ALTURA SOBRE LA CONCENTRACIÓN DE MALONDIALDEHÍDO EN AIRE ESPIRADO EN CICLISTAS**

Tesis entregada a la **UNIVERSIDAD DE CHILE** en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al grado de **LICENCIADO EN KINESIOLOGIA**.

**CARLOS MICHEL GUAJARDO ROJAS**

**CÉSAR AGUSTÍN VEGA VIDAL**

DIRECTOR DE TESIS: Dr. Prof. Claus Behn Thiele. Dr. Óscar Araneda.

PATROCINANTE DE TESIS: Sra. Silvia Ortiz Zuñiga

**2003**



<b>INFORME DE APROBACIÓN TESIS DE LICENCIATURA. . .</b>	<b>1</b>
<b>..</b>	<b>3</b>
<b>AGRADECIMIENTOS. . .</b>	<b>5</b>
<b>RESUMEN. . .</b>	<b>7</b>
<b>ABREVIATURAS. .</b>	<b>9</b>
<b>INTRODUCCIÓN. . .</b>	<b>11</b>
<b>DEFINICION DEL PROBLEMA . .</b>	<b>13</b>
<b>JUSTIFICACION Y SIGNIFICADO DEL PROBLEMA. . .</b>	<b>15</b>
<b>OBJETIVO GENERAL: .</b>	<b>17</b>
<b>OBJETIVOS ESPECIFICOS: . .</b>	<b>19</b>
<b>HIPOTESIS. .</b>	<b>21</b>
<b>VARIABLES. .</b>	<b>23</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS. . .</b>	<b>25</b>
<b>Tipo de estudio. . .</b>	<b>25</b>
<b>Diseño de la investigación. .</b>	<b>25</b>
<b>Muestra. .</b>	<b>26</b>
<b>Características de la muestra: . .</b>	<b>26</b>
<b>Limitantes de la investigación. .</b>	<b>26</b>
<b>Medición de Malondialdehído en aire espirado (Larstad y col. 2003): . .</b>	<b>29</b>
<b>ANÁLISIS ESTADÍSTICO. . .</b>	<b>30</b>
<b>RESULTADOS. .</b>	<b>31</b>
<b>CONCLUSIONES. .</b>	<b>35</b>
<b>DISCUSIÓN. . .</b>	<b>37</b>
<b>PROYECCIONES. .</b>	<b>39</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA. . .</b>	<b>41</b>
<b>ANEXOS. .</b>	<b>45</b>
<b>ANEXO A. CONSENTIMIENTO INFORMADO. .</b>	<b>45</b>

ANEXO B. Tablas. .

46

ANEXO C. Fotos. .

49

## INFORME DE APROBACIÓN TESIS DE LICENCIATURA.

Se informa a la Escuela de Kinesiología de la Facultad de Medicina que la Tesis de licenciatura presentada por los candidatos:

CARLOS MICHEL GUAJARDO ROJAS

CÉSAR AGUSTÍN VEGA VIDAL

Ha sido aprobado por la Comisión Informante de Tesis como requisito de Tesis para optar al grado de Licenciado en Kinesiología, en el examen de defensa de Tesis rendido el día del 2003.

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Prof. Claus Behn Thiele.

.....  
(Firma)

COMISIÓN INFORMANTE DE TESIS:

NOMBRE

FIRMA

.....  
.....  
.....



---

*A mi familia, en especial a mi madre y a María Ignacia, por su amor, entrega y apoyo. Por estar siempre presentes cuando fue necesario. A mis amigos, por su apoyo y cariño. Gracias.*  
*Carlos Guajardo R. A mi madre y mi hermano por los años de apoyo, a la mujer que iluminó mi vida y que me ha brindado su apoyo y amor incondicional, María Graciela. A mis amigos. A todo aquel que quiera leer esta tesis . César Vega V.*





## AGRADECIMIENTOS.

Queremos agradecer a un valioso grupo de personas, porque sin la ayuda de ellas esta Tesis no hubiese sido posible:

A nuestro director de Tesis, Dr. Prof. Claus Behn Thiele, por su orientación y buena voluntad.

Al Dr. Oscar Araneda, por creer en nosotros, su inagotable paciencia, el valioso tiempo que nos dedicó, sus consejos y ayuda desinteresada.

Al Profesor Jorge Cagigal, por hacernos partícipes de su proyecto y su ayuda en la toma de muestras.

A todos los miembros de la Selección Chilena de Mountain Bike, por su entrega y entusiasmo y porque sin ellos no hubiera sido posible el desarrollo de esta investigación.

Al señor Luis Pizarro, por colaborar en la toma de muestras, por su buen humor y disposición a la hora de ayudarnos.

A Carlos García, porque sin su ayuda no hubiese sido posible concretar este estudio.

A nuestros amigos Luis Muñoz, María Graciela Silva y Sergio Villagrán, y al señor Héctor Silva, por la ayuda que nos brindaron en momentos decisivos.



---

## RESUMEN.

En el último tiempo, los deportistas de elite han recurrido al entrenamiento en altura, con el fin de aumentar sus rendimientos a nivel del mar. Sin embargo, existen dudas y controversias en el conocimiento científico acerca de los efectos sobre diferentes aspectos del rendimiento deportivo. Esto se debe a los variados métodos de investigación que emplean diferentes protocolos y distintas altitudes, además de que las respuestas de adaptación pueden ser diferentes en cada individuo. Por ejemplo, muchos estudios se llevan a cabo en altitudes demasiado elevadas para lograr efectos positivos de adaptación para el rendimiento deportivo, las que tienen un efecto paradójico, invirtiendo las adaptaciones de altitudes medias.

Por esta razón se requiere estudiar las distintas consecuencias de la exposición a la condición de hipoxia hipobárica sobre el organismo; como el daño pulmonar generado por estrés oxidativo. Es por ello, que el objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto de la realización de ejercicio anaeróbico en altura, evaluado a través de la concentración de malondialdehído (MDA) en un condensado de aire espirado, como indicador de estrés oxidativo a nivel pulmonar.

La presente investigación contó con la participación de 10 ciclistas (sexo masculino,  $17.5 \pm 1.9$  años,  $62.7 \pm 6.5$  Kg,  $172 \pm 6.9$  cm., IMC  $20.9 \pm 1.3$ ), miembros de la Selección Chilena de Mountain Bike, quienes fueron sometidos a un ejercicio de carácter anaeróbico en Santiago (670 m.s.n.m.) y dos días después se repitió la experiencia en la localidad cordillerana de Lagunillas (2160 m.s.n.m.). Se tomaron muestras de condensado de aire espirado, con el objetivo de medir la concentración de MDA.

Para analizar los datos recolectados se utilizó el programa WINKS 4.65. La estadística utilizada fue el Test de Wilcoxon para muestras pareadas.

Como conclusión de la presente investigación, es posible afirmar que la realización de un ejercicio de tipo anaeróbico a una altura de 2160 metros de altura, produce un aumento ( $p \# 0.04$ ) en la concentración de MDA en un condensado de aire espirado, lo que indicaría la producción de un daño pulmonar debido a la generación de estrés oxidativo.



## ABREVIATURAS.

**μM:** micro molar.

**ATP:** adenosintrifosfato.

**IMC:** Índice de Masa Corporal.

**MDA:** Malondialdehído.

**mg / dL:** miligramos por decilitro.

**m.s.n.m.:** metros sobre el nivel del mar.

**ROS:** Sustancias Reactivas del Oxígeno.



---

## INTRODUCCIÓN.

Para obtener energía en forma de adenosintrifosfato (ATP) el organismo requiere intercambiar oxígeno y dióxido de carbono con el ambiente. La hipoxia se define como un aporte insuficiente de oxígeno, en relación con las necesidades de ATP de origen aeróbico (Connett, 1990).

La altura no afecta la composición relativa de los gases que componen el aire (20,93% de O<sub>2</sub>), pero conlleva una disminución exponencial de la presión barométrica. A su vez disminuyen la presión parcial de oxígeno y la cantidad de cada uno de los gases que componen el aire.

Al disminuir la presión barométrica, y con ello la presión parcial de los gases que componen el aire, se reduce la fuerza motriz que determina el flujo de oxígeno desde el ambiente a la mitocondria (Saldías, 1995).

El oxígeno, al encontrarse en una menor cantidad por efecto de la menor presión atmosférica, condición de *hipoxia hipobárica*, desencadena una serie de respuestas en el organismo, una de las cuales es la producción de *sustancias reactivas derivadas del oxígeno* (*reactive oxigen species o ROS*). Este fenómeno se conoce como la paradoja de la hipoxia, ya que existiendo una menor disponibilidad de moléculas de oxígeno puede generarse la oxidación de éstas moléculas, fenómeno que normalmente ocurre bajo condiciones de exceso de este gas (Richalet JP, 1995).

Aparte de la disminución de la presión barométrica y sus efectos directos e indirectos en el intercambio gaseoso, la exposición a la altura implica también la presencia de otros factores patogénicos como son el frío, la sequedad del aire, el aumento en las radiaciones y el aislamiento, entre otros.

La exposición del ser humano a la hipoxia hipobárica permite estudiar la interacción de múltiples mecanismos fisiológicos de adaptación desarrollados para poder enfrentar situaciones límites.

Durante la realización de ejercicios en altura, el grado de estrés oxidativo puede ser mayor que a nivel del mar, debido a una combinación de factores como: fluctuaciones de la temperatura, pobre oxigenación sanguínea debido a la hipoxia y al resultado de la relación anoxia/reoxigenación con el ejercicio intermitente.





## DEFINICION DEL PROBLEMA

La realización de ejercicio de carácter anaeróbico puede producir en el organismo una situación de estrés oxidativo, así como el exponerse a hipoxia hipobárica al situarse a una altura de 2160 metros.

¿La exposición a una altura de 2160 metros provoca estrés oxidativo a nivel pulmonar?.

¿La realización de ejercicio anaeróbico provoca estrés oxidativo a nivel pulmonar?.



## JUSTIFICACION Y SIGNIFICADO DEL PROBLEMA.

Si bien, el ejercicio trae consigo innumerables beneficios, así mismo, produce efectos perjudiciales para la función de diversos tejidos del organismo, uno de ellos es el aumento en la producción de prooxidantes, fenómeno conocido como estrés oxidativo. Diversos estudios han descrito que durante la realización de ejercicio, se desarrolla un aumento en la producción de prooxidantes (Oh-Ishi y cols., 1997). Uno de los indicadores de éste es el MDA, el cual se produce por la peroxidación lipídica, dada por el ataque de los prooxidantes sobre los ácidos grasos poliinsaturados. A su vez, se ha visto que en altura (condición de hipoxia hipobárica) también se da este fenómeno, conocido como la *“paradoja de la hipoxia”*, ya que existiendo una menor disponibilidad de oxígeno se genera gran cantidad de radicales libres derivados de éste, con el consiguiente daño que producen sobre los tejidos.

La presente investigación permite estudiar la relación de ambos fenómenos: el efecto de la realización de ejercicio en altura sobre el estrés oxidativo a nivel pulmonar.

Además, dado el creciente número de deportistas que día a día han visto en la realización del entrenamiento en altura un aumento de sus rendimientos a nivel del mar, que es preciso conocer las consecuencias de éste, con el fin de que no se den efectos que sean perjudiciales en vez de ser benéficos.

Otro punto a considerar de la presente investigación es el hecho de que se evaluó la concentración de MDA en un condensado de aire espirado, método de carácter no

invasivo, que permitiría realizar un estudio mucho más detallado de los fenómenos, ya que permite una aplicación repetitiva. Esto a su vez, permitiría evaluar diversos tratamientos que se puedan desarrollar para el manejo de diversas patologías pulmonares.

## OBJETIVO GENERAL:

- Determinar si la exposición a una altura de 2160 metros, provoca estrés oxidativo a nivel pulmonar.
- Determinar si la realización de ejercicio anaeróbico, tanto en Santiago (670 m.s.n.m.) como en Lagunillas (2160 m.s.n.m.) provoca estrés oxidativo a nivel pulmonar.



## OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Determinar la concentración de MDA antes y después de la exposición a la condición de hipoxia hipobárica.
- Determinar la concentración de MDA antes y después de la realización de ejercicio de tipo anaeróbico.





## HIPOTESIS.

H1: “En individuos que ascienden a una altura de 2160 metros se produce una condición de estrés oxidativo a nivel pulmonar, demostrado por un aumento en la concentración de MDA en un condensado de aire espirado”.

H2: “En individuos que realizan un ejercicio de tipo anaeróbico a una altura de 2160 m.s.n.m. comparado con 670 m.s.n.m., se produce estrés oxidativo a nivel pulmonar, demostrado por un aumento en la concentración de MDA en un condensado de aire espirado”.



---

# VARIABLES.

## **a) Dependientes:**

*Estrés oxidativo:* variable dependiente. Definida como un incremento en la producción de radicales libres, superando la eficacia de los sistemas antioxidantes (Liu y cols., 2000). Operacionalmente evaluado a través de la concentración de MDA en un condensado de aire espirado, en ambos niveles de altura: Santiago – Lagunillas.

## **b) Independientes:**

*Exposición a altura:* Variable independiente. Definida como una disminución de la presión parcial de oxígeno. Operacionalmente queda definida por los dos niveles de altura: Santiago – Lagunillas.

*Ejercicio anaeróbico:* Variable independiente, definido como trabajo físico de mediana - alta intensidad, ejecutado por períodos cortos de tiempo, de no más de un minuto, con pausas de recuperación activas de un minuto (Barbarti V., 1995). Operacionalmente se evaluará a través de la concentración de lactato.



# MATERIALES Y MÉTODOS.

## Tipo de estudio.

La presente investigación se caracteriza por ser básicamente de un **nivel descriptivo**, ya que se hará medición de las variables dependientes.

Según la ocurrencia y el registro de información se define la presente investigación como de tipo **transversal**, pues la información se va registrando a medida que se va produciendo.

## Diseño de la investigación.

La presente investigación se enmarca dentro del **nivel cuasiexperimental**, debido a que se realizó un manejo de la variable independiente, no existió un grupo control, y los sujetos no fueron elegidos aleatoriamente.

El diseño de la investigación corresponde al tipo llamado “Diseño con pre-prueba y post -prueba” de un solo grupo, ya que se evaluó la concentración de MDA en un condensado de aire espirado, mediante dos pruebas (antes y después de realización de

ejercicio) a un mismo grupo de sujetos.

Las muestras fueron recolectadas a dos niveles de altura:

- a) Santiago (670 metros sobre el nivel del mar).
- b) Lagunillas (2160 metros sobre el nivel del mar).

## **Muestra.**

La investigación contó con la participación de 10 integrantes de la Selección Chilena de Mountain Bike, especialidad Cross Country, previa firma de consentimiento informado. (Anexo 1). El muestreo realizado es del tipo no probabilístico, por conveniencia.

## **Características de la muestra:**

Se evaluaron 10 ciclistas con las siguientes características <sup>1</sup> :

- Sexo masculino.
- Edad: .  $17.5 \pm 1.9$  años
- Peso:  $62.7 \pm 6.5$  kilogramos
- Talla:  $172 \pm 6.9$  cm.
- IMC:  $20.95 \pm 1.29$
- Deportistas de alto rendimiento, miembros de la Selección nacional de Mountainbike <sup>2</sup> , especialidad cross country.
- Sin medicación de ningún tipo, ni suplementación con antioxidantes.
- Sin antecedentes clínicos de importancia.
- Sin exposición previa a la altura en los últimos dos meses.

## **Limitantes de la investigación.**

Debido a que es imposible controlar todos los factores durante la realización del estudio, creemos que las variables que pueden de algún modo llegar a influir en esta investigación son:

<sup>1</sup> Ver tabla 1. Motivación individual de cada participante.

<sup>2</sup> Ver figura A.

- Apoyo técnico y económico para el análisis de las muestras.

Para llevar a cabo la investigación se requirió evaluar:

**a) Evaluación del ejercicio físico:**

Se realizaron evaluaciones de trabajo anaeróbico en el laboratorio de fisiología del Centro de Alto Rendimiento (CAR) y dos días después los individuos fueron transportados por vía terrestre a un refugio ubicado en la localidad cordillerana de Lagunillas a 2160 m.s.n.m., el cual se encontraba adecuadamente preparado para la realización de ejercicio. Ambas dependencias son pertenecientes a Chiledeportes.

Durante la realización de la experiencia se evaluó la concentración de lactato en sangre, extraída del lóbulo de la oreja<sup>3</sup> y almacenada en un capilar heparinizado, mediante equipo portátil Accusport<sup>®</sup> (Lab. Roche, Alemania)

El ejercicio se realizó en un cicloergómetro<sup>4</sup> (Spin Trainer Technogym<sup>®</sup>, Italia). Para comenzar la sesión, cada participante debió realizar un calentamiento de 20 minutos y luego realizaron la parte anaeróbica del ejercicio que consistió en tres minutos de ejercicio maximal con 1 minuto de pausa activa entre cada uno de ellos:

- 1 minuto maximal
- 1 minuto pausa.
- 1 minuto maximal
- 1 minuto pausa
- 1 minuto maximal
- 1 minuto pausa.

El cicloergómetro se programó según peso y edad de cada participante; además se programa una pendiente de 6% con el fin de aumentar la exigencia del ejercicio. La concentración de lactato se evaluó antes y después de la realización de ejercicio, en ambos niveles de altura, con el fin de determinar la intensidad del ejercicio.

**b) Parámetros en condensado de aire espirado:**

Para obtener el condensado de aire espirado se utilizó un aparato diseñado en el Laboratorio de Ambientes Extremos de la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile, por el Dr. Oscar Araneda, consistente en un sistema compuesto por una mascarilla conectada a un sistema tubular provisto de válvulas de una vía, conectores (Hudson Respiratory Care<sup>®</sup>, EE.UU.) y un tubo corrugado (22 mm diámetro interno, VBM Medizintechnik<sup>®</sup>, Alemania) rodeado de un calefactor flexible que lo mantiene a 40°C para así poder reunir el máximo de muestra. El tubo corrugado es conectado a un tubo de vidrio en forma de "Y", y este a su vez se une a la cámara que recolecta la muestra, la cual se encuentra inmersa en hielo granulado a una temperatura de -5°C; la diferencia de temperatura provoca que este se condense y precipite a la cámara que recolecta el

<sup>3</sup> Ver figura B.

<sup>4</sup> Ver figura C.

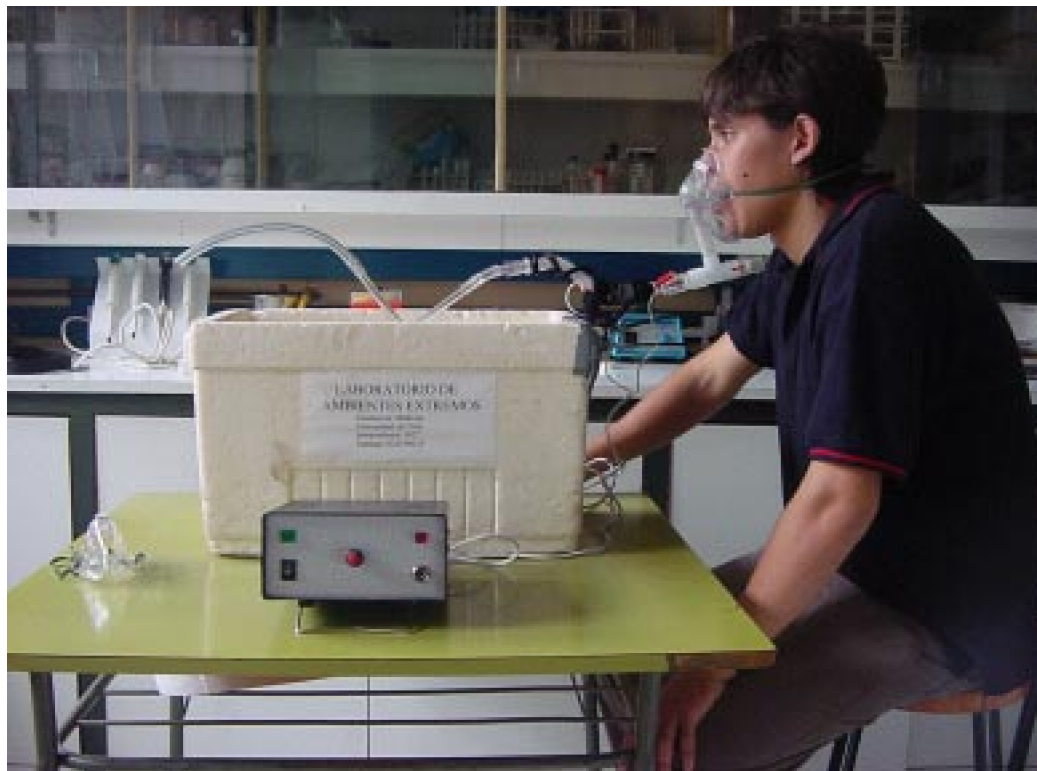
## EFFECTO DEL EJERCICIO ANAERÓBICO Y DE LA ALTURA SOBRE LA CONCENTRACIÓN DE MALONDIALDEHÍDO EN AIRE ESPIRADO EN CICLISTAS

---

condensado <sup>5</sup> .

Finalmente, consta de una vía de salida para el aire no condensado. La muestra es almacenada posteriormente a una temperatura de  $-85^{\circ}\text{C}$  por aproximadamente 5 días para luego ser analizada. En ambas muestras se mide la concentración de MDA.

Además se midió la ventilación pulmonar en L/min. Para esto se utilizó una bolsa graduada <sup>6</sup> , diseñada en el Laboratorio de Ambientes Extremos de la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile. La bolsa se encuentra conectada a una válvula de una vía, y ésta a su vez se conecta a una manguera de 20 mm de diámetro, a través de la cual los individuos debían espirar durante 4 minutos. Esta medición se realizó previo a la realización de ejercicio tanto en Santiago como en Lagunillas, cuando los individuos se encontraban con una frecuencia cardíaca de reposo estable.



*Fig. 1. Toma de muestra de condensado de aire espirado.*

<sup>5</sup> Ver figuras 1 y 2.

<sup>6</sup> Ver figura D.





Fig. 2. Equipo utilizado para la toma de muestra de condensado de aire espirado.

## Medición de Malondialdehído en aire espirado (Larstad y col. 2003):

Fue realizado en el Laboratorio de Bioquímica de Membranas de la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile, con mínimas modificaciones según el método de HPLC (High Performance Liquid Chromatography). A 300  $\mu\text{L}$  de aire condensado se agregaron 100  $\mu\text{L}$  de ácido tiobarbitúrico, con lo que se forma un aducto (mezcla de ácido con MDA), el cual es incubado a 95 grados durante 30 minutos, luego de esto puesto en hielo. La mezcla de ácido tiobarbitúrico y MDA se torna de un color rojizo, el cual es analizado a través de HPLC (Waters 501<sup>®</sup>, USA) con detector fluorescente, a una longitud de onda 553 nm de emisión y 535 nm de excitación. Cada vez fueron ensayados un blanco y un standard.



*Fig. 3. HPLC Waters 501<sup>®</sup>, USA.*

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Para analizar los resultados, se empleó el programa WINKS 4.65 y se aplicó el Test de Wilcoxon para muestras pareadas, debido al tamaño reducido de la muestra y a la distribución no homogénea de los resultados. Se utilizó un nivel de significancia de  $\alpha=0.05$ .

---

## RESULTADOS.

No se observaron cambios estadísticamente significativos al comparar los niveles basales de MDA tanto en Santiago como en Lagunillas ( $p \geq 0.10$ ).

Al comparar los niveles de Santiago antes y después de la realización del ejercicio, no se observó un aumento significativo ( $p \geq 0.06$ ), en la concentración de MDA en aire espirado.

Los niveles de MDA en Lagunillas antes y después de la realización de la pauta de ejercicio, mostraron un aumento estadísticamente significativo ( $p \geq 0.04$ ).

La concentración de lactato aumentó significativamente al comparar los niveles de Santiago antes y después de la realización de ejercicio ( $p \geq 0.01$ ).

Se observó también un aumento en la concentración de lactato al comparar los niveles antes y después del ejercicio en Lagunillas ( $p \geq 0.04$ ).

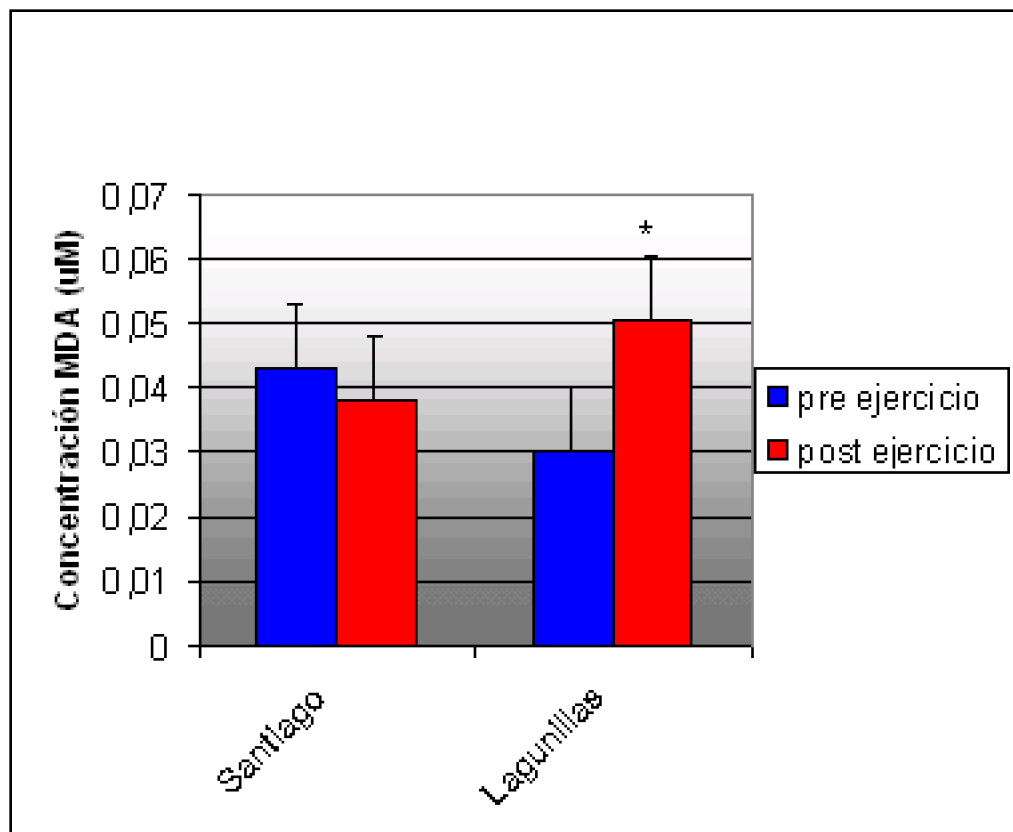
En lo que respecta a la ventilación, se observó un aumento significativamente estadístico ( $p \geq 0.01$ ), al comparar los valores de Santiago con respecto a Lagunillas.

El grafico 1 muestra los cambios en los promedios de la concentración de MDA antes y después de la realización de ejercicio en Santiago y Lagunillas.

El grafico 2 muestra la variación en la concentración promedio de lactato tanto en Santiago como en Lagunillas, antes y después del ejercicio.

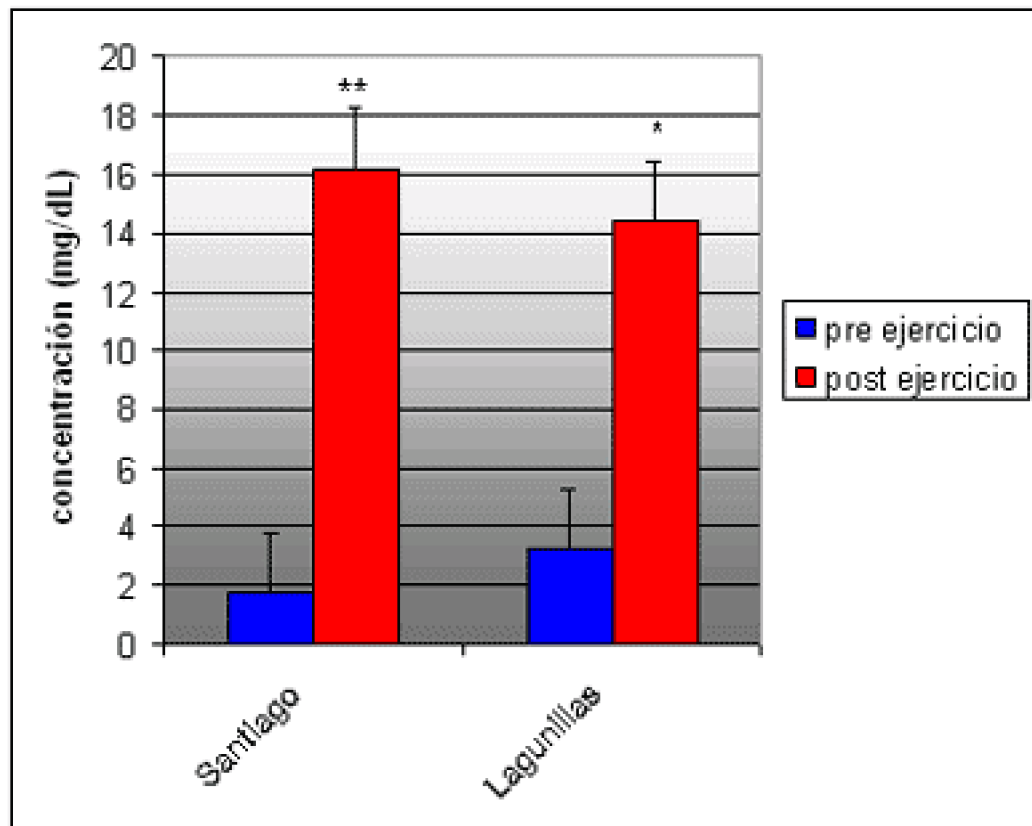
El grafico 3 muestra la variación promedio de la ventilación pulmonar inducida por hipoxia hipobárica.

EFFECTO DEL EJERCICIO ANAERÓBICO Y DE LA ALTURA SOBRE LA CONCENTRACIÓN DE MALONDIALDEHÍDO EN AIRE ESPIRADO EN CICLISTAS



\* *Lagunillas pre-post p = 0.04 (aumento significativo)*  
*Basales y Santiago no tuvieron cambios significativos*

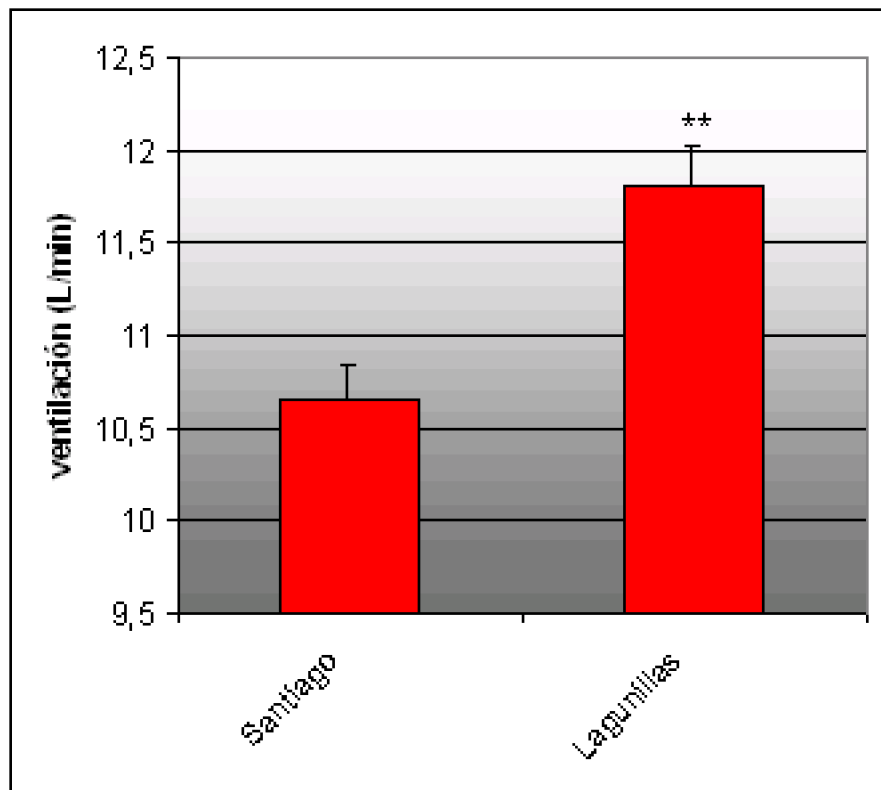
Grafico 1. Cambios en la concentración de MDA antes y después de la realización de ejercicio en ambos niveles de altura.



\*\*  $p < 0.01$  (aumento significativo) Santiago

\* $p < 0.04$  (aumento significativo) Lagunillas

Grafico 2. Cambios en la concentración de lactato antes y después de la realización de ejercicio en ambos niveles de altura.



**\*\*p < 0.01 (aumento significativo)**

*Grafico 3. Cambios en la ventilación pulmonar inducidos por exposición a hipoxia hipobárica.*

## CONCLUSIONES.

La concentración de lactato antes de la realización de ejercicio, mostró un valor más elevado en Lagunillas; mientras que los valores post ejercicio fueron menores en la altura en comparación a los de Santiago.

Con la exposición a la condición de hipoxia hipobárica, no fue posible evidenciar la presencia de estrés oxidativo a nivel pulmonar, debido a que no se produjo un aumento en los niveles de MDA; esto rechazaría la segunda hipótesis propuesta en la presente investigación.

Este estudio respalda la primera hipótesis de trabajo planteada, por lo que es posible concluir que la realización de un ejercicio de carácter anaeróbico a 2160 metros de altura, produce daño pulmonar por estrés oxidativo, evaluado por un aumento en la concentración de MDA en un condensado de aire espirado.





## DISCUSIÓN.

La aclimatización a la hipoxia hipobárica inicia una serie de adaptaciones metabólicas, musculares y cardiorrespiratorias, que influyen tanto el transporte como la utilización del oxígeno. Sin embargo, no todos los aspectos de la aclimatización a la altura son benéficos, uno de los principales perjuicios es la producción de daño tisular mediado por la generación de estrés oxidativo (Bailey D., Davies B., 1997).

De acuerdo a los datos obtenidos y a los análisis efectuados, se afirma que la realización de un ejercicio de carácter anaeróbico a una altura de 2160 m.s.n.m. produce un aumento en la concentración de MDA en un condensado de aire espirado, lo que indicaría la generación de un daño por oxidación a nivel pulmonar. Esto concuerda con evidencia que señala que la realización de trabajo físico en altura, genera estrés oxidativo. Se encuentra ampliamente demostrado que el principal factor responsable del estrés oxidativo producido durante la realización de ejercicio, es el aumento en la tasa de consumo de oxígeno; sin embargo, existen una serie de factores (acidosis, autooxidación de catecolaminas, entre otros), que inducen daño oxidativo al realizar un ejercicio anaeróbico de corta duración (Groussard y cols., 2003). Es conocido que el ejercicio físico agudo puede tener diversas consecuencias fisiopatológicas en distintos órganos, debido a la formación de radicales libres. Se ha evidenciado la modificación oxidativa de proteínas de pulmón en ratas, luego de la realización de un ejercicio aeróbico (Radak y cols., 1998). Estudios señalan que la realización de ejercicio anaeróbico está asociado con cambios agudos en el sistema antioxidante plasmático de tipo no enzimático, que dejarían al organismo desprovisto de una barrera contra la oxidación, además de un aumento en la actividad de diversas enzimas tales como la glutamina sintetasa (Machefer

y cols., 2003).

La exposición a hipoxia hipobárica no produjo un aumento en la concentración de MDA. La explicación a este hecho puede fundamentarse en que el lugar donde se realizó la experiencia se encuentra ubicado a 2160 m.s.n.m., lo que corresponde a mediana altura. A diferencia de la evidencia existente, la cual señala que en individuos expuestos a alturas superiores a 3000 m.s.n.m se produce un aumento en la peroxidación lipídica a nivel pulmonar, evaluada a través de la concentración de MDA en aire espirado (Araneda O. y cols., 2003).

La concentración de lactato evaluada paralelamente, resultó ser de suma importancia, debido a que mostró un aumento de menor proporción luego de la realización de ejercicio en altura, en comparación a la concentración de lactato post ejercicio en Santiago, lo que concuerda con diversas investigaciones que denominan a este fenómeno como la *"paradoja del lactato"* (Grassi y cols., 1995). La concentración basal de lactato en la localidad de Lagunillas, fue superior en relación a la concentración de Santiago, situación que puede explicarse por el hecho de que en individuos recién llegados a la altura, y que además realizan ejercicio, aumenta la concentración de lactato en el músculo esquelético y en la sangre en mayor medida que a nivel del mar. Esta concentración de lactato posterior a la realización de un ejercicio en la altura, al parecer se encuentra influenciada por los niveles de catecolaminas circulantes, por la capacidad del músculo esquelético de transportar lactato hacia el espacio extracelular y por la hipoxemia (Brooks y cols., 1998).

El tamaño reducido de la muestra hace que los resultados encontrados en el presente estudio, tengan un valor limitado y relativo a ella misma, sin poder extrapolarse a la población general. A pesar de esto, la importancia de la presente investigación radica en el hecho de que se constató el posible daño generado por la realización de ejercicio en altura a nivel pulmonar, demostrado a través de un aumento en la concentración de MDA en un condensado de aire espirado.

## PROYECCIONES.

La importancia de la presente investigación radica en el hecho de que a través de un método no invasivo, es posible realizar un estudio de las posibles adaptaciones y consecuencias que ocurren a nivel respiratorio, debido a la exposición a hipoxia hipobárica, y en mayor medida, a la realización de un ejercicio de alta intensidad, en condiciones extremas. El estudio de la concentración de MDA en aire espirado, permitiría determinar que individuos se encuentran en óptimas condiciones para ser expuestos a hipoxia hipobárica, sin padecer los efectos nocivos que ésta genera en ocasiones, tales como el Mal Agudo de Montaña, y especialmente si serán sometidos a exigencia física en situaciones adversas.

El presente estudio demostró que es posible la realización de un ejercicio de gran exigencia física en situaciones límites, como la altura. No obstante, cabe destacar que los individuos sometidos a la realización de ejercicio, son deportistas de alto rendimiento, acostumbrados a grandes niveles de exigencia, por lo que cabe preguntarse si individuos sedentarios o deportistas aficionados responderán de igual manera en similares condiciones.

La importancia teórica de este estudio, puede contribuir a orientar la realización de ejercicio físico, aplicado al entrenamiento de altura, de modo que se pueda realizar en forma oportuna y en cantidad e intensidad apropiada.

En virtud de la presente investigación, se pueden proyectar diversos estudios que contemplen otras situaciones, tales como la realización de ejercicio de carácter aeróbico, o de conocer el efecto de la aclimatización a altura en la generación de estrés oxidativo a

nivel pulmonar, ya que sólo fue evaluada el efecto de la exposición directa a hipoxia hipobárica. Otro punto a considerar sería el realizar estudios similares que contemplen alturas superiores a los 2500 m.s.n.m, para así poder observar la verdadera influencia de la exposición a hipoxia hipobárica en el estrés oxidativo pulmonar y en la capacidad de realizar ejercicio de alta exigencia.

---

## BIBLIOGRAFÍA.

- Alessio H., Goldfarb A., Cutler R.**, “MDA content increases in fast and slow twitch skeletal muscle with intensity of exercise in a rat”. *American Journal of Physiology (Cell Physiology)*. 1988; 255: C 874 – C 877.
- Ames BN, Shigenaga MK, Hagen TM.** “Mitochondrial decay in aging”. *Biochem Biophys Acta*. 1995; 1271: 165 – 170.
- Araneda O .,García C., Salazar M., Behn C.** “Peroxidación pulmonar a 3000 metros e incidencia del Mal Agudo de Montaña a 5000 metros” XVIII Reunión Anual de la Sociedad Chilena de Ciencias Fisiológicas, Villa Alemana, Chile. 2003.
- Bailey D., Davies B.** “Physiological implication of altitude training for endurance performance at sea level”. *British Journal of Sports Medicine*. 1997; 31 (3): 183 – 190.
- Barbarti V.** “Entrenamiento Físico, Bases Científicas”. 3<sup>ra</sup> edición; Sao Paulo, 1996.
- Brooks G., Wolfel E., Butterfield G., Roberts A., Mazzeo R., Reeves J.** “Poor relationship between arterial lactate and leg net release during exercise at 4.300 m altitude”. *American Journal Of Physiology (Regul Integr Comp Physiol)*. 1998; 275: R1192– 1201.
- Cascales M.**, “Estrés oxidativo, envejecimiento y enfermedad”. Editorial Instituto de España; 1<sup>ra</sup> edición, Madrid, 1999.
- Chao W – H, Askew E, Roberts D, Wood S, Perkins J.** “Oxidative stress in humans during work at moderate Altitude”. *American Society for Nutritional Sciences*. 1999;

129 (11): 2009 – 2012.

- Chevion S, Moran D, Heled Y.** “*Plasma antioxidant status and cell injury after severe physical exercise*”. Proceedings of the National Academy of Sciences. 2003; 100 (9): 5119– 5123.
- Connett R., Honig C., Gayeski T.** “*Defining hypoxia: a systems view of VO<sub>2</sub>, glycolysis, energetics and intracellular PO<sub>2</sub>*”. Journal of Applied Physiology. 1990; 68: 833 – 842.
- Godin D, Wohaieb A.** “*Nutritional deficiency, starvation, and tissue antioxidant status*”. Free Radic Biol Med. 1988; 5: 165 –176.
- Gonzalez N., Wood J., Johnson J.** “*Systemic hypoxia increases leukocyte emigration and vascular permeability in conscious rats*”. Journal of Applied Physiology 2000; 89 (4): 1561-1568.
- Grassi B., Ferretti G., Kayser B., Marzorati M., Cerretelli P, Marconi C.** “*Maximal rate of blood lactate accumulation during exercise at altitude in humans*”. Journal of Applied Physiology. 1995; 79 (1): 331 – 339.
- Groussard C., Vincent S., Chevenne M.** “*Changes in blood lipid peroxidation markers and antioxidants after a single sprint of anaerobic exercise*”. European Journal of Applied Physiology. 2003; 89 (1): 14 – 20.
- Gutteridge J.** “*Lipid peroxidation and antioxidants as biomarkers of tissue damage*”, Clinical Chemistry. 1995; 41:12 – 27.
- Halliwell B, Gutteridge J.** “*Free radicals in biology and medicine*”. 2<sup>nd</sup> ed. Oxford (UK): Clarendon Press. 1992; 12 (1): 93 – 95.
- Heunks L., Dekhuijzen R.** “*Respiratory muscle function and free radicals: from cell to CODP*”. Thorax. 2000; 55 (8): 704 – 716.
- Ji L. L.** “*Oxidative stress during exercise: implication of antioxidant nutrients*”. Free radical Biology & Medicine. 1995; 18: 1079 – 1086.
- Ji L. L.** “*Antioxidants and oxidative stress in exercise*”. Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine . 1999; 222: 283-292.
- Larstad M, Ljungkvist G, Olin AC, Toren K.** “*Determination of malondialdehyde in breath condensate by high-performance liquid chromatography with fluorescence detection*”. J Chromatogr B Analyt Technol Biomed Life Sci. 2002; 766 (1):107-114.
- Leaf D, Kleinman MT, Hamilton M, Deitrick R.** “*The exercise-induced oxidative stress paradox: The effects of Physical exercise training*”. The American Journal of the Medical Sciences. 1999; 317 (5): 295 – 300.
- Leuratt C, Lagneau C, Farmer P, Shuker D,** “*Determination of malondialdehyde induced DNA damage in human tissue using a immunoslot blot assay*”. Carcinogenesis. 1998; 19 (11): 1919 – 1924.
- Liu J., Yeo H., Hagen T., Doniger S., Chu D., Brooks G.** “*Cronically and acutely exercised rats: biomarkers of oxidative stress and endogenous antioxidants*”. Journal of Applied Physiology. 2000; 89: 21 – 28.
- Machefer G ., Groussard C., Rannou F.** “*Physical fitness and plasma non – enzymatic antioxidant status at rest and after a Wingate test* “. Canadian Journal of Applied Physiology. 2003; 28 (1): 78 – 92.

- 
- Machlin L J, Bendich, A .** “*Free radicals tissue damage: Protective role of antioxidant nutrients*”. FASEB J. 1987; 1: 441 – 445.
- Oh-Ishi S., Kisaki T., Sakurai T., Izawa T., Nagata N., Ohno H.** “*Endurance training improves the resistance of rat diaphragm to exercise-induced oxidative stress*”. American Journal of Respiratory Critical Care Medicine. 1997 ; 156: 1579 – 1585.
- Pesci A, Balbi B, Majori M, Cacciani G .** “*Inflammatory cells and mediators in bronchial lavage of patients with chronic obstructive pulmonary disease*”. European Respiratory Journal. 1999;12 (2): 380-386.
- Radak Z., Nakamura A., Nakamoto H.** “*A period of anaerobic exercise increases reactive carbonyl derivatives in the lung of rats*”. Pflugers Archives. 1998; 435 (3): 439 – 441.
- Rahman I., Morrison D., Donalson K .** “*Systemic oxidative stress in asthma, COPD, and smokers*”. American Journal Of Respiratory Critical Care Medicine. 1996; 154: 1055 – 1060.
- Richalet JP.** “*High altitude pulmonary oedema: still a place for controversy?*” Thorax. 1995 Sep; 50 (9): 923 - 929.
- Saldías F., Beroiza T., Lisboa C.** “*Enfermedad de altura aguda y función ventilatoria en sujetos expuestos a hipoxia hipobárica intermitente*”. Revista Médica de Chile. 1995; 123 (1): 44 – 50.
- Wilhelm J., Frydrychova M., Vizek M.** “*Hydrogen Peroxide in the Breath of Rats: the Effects of Hipoxia and Paraquat*”. Physiological Research. 1999; 48: 445 – 449.
- Yu BP.** “*Cellular defenses against damage from reactive oxygen species*”. Physiological Review. 1994; 74:139 – 162.





---

# ANEXOS.

## ANEXO A. CONSENTIMIENTO INFORMADO.

Yo,.....C.I.....

Acepto participar como voluntario en la investigación, motivo de una Tesis para la obtención del grado de Licenciado en Kinesiología otorgado por la Universidad de Chile, ***“Efecto del ejercicio anaeróbico y de la altura sobre la concentración de malondialdehído en aire espirado en ciclistas”***.

Para la participación del estudio, se otorga la siguiente información:

1.- Los investigadores son: Carlos Guajardo Rojas y César Vega Vidal, alumnos de IV año de la carrera de Kinesiología, Facultad de Medicina de la Universidad de Chile. Cuenta con la tutoría del Dr. Claus Behn Thiele, Profesor titular del Departamento de Fisiología de la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile y del Dr. Oscar Araneda, también miembro de dicho Departamento. La colaboración de Jorge Cajigal, Profesor de Educación Física del Centro de Alto Rendimiento (CAR) y miembro del Departamento de Fisiología del Ejercicio del mismo, en el diseño del programa de entrenamiento.

2.- La presente investigación se llevara a cabo en las dependencias del Centro de Alto Rendimiento y en el Refugio Cordillerano de Lagunillas, dependientes ambos de

## EFFECTO DEL EJERCICIO ANAERÓBICO Y DE LA ALTURA SOBRE LA CONCENTRACIÓN DE MALONDIALDEHÍDO EN AIRE ESPIRADO EN CICLISTAS

---

Chiledeportes. En estos mismos lugares se realizará además la toma de muestras. El estudio consiste en analizar la existencia de una relación entre las variaciones en el estrés oxidativo a nivel pulmonar debido a la realización de un ejercicio anaeróbico a una altura de 2160 metros sobre el nivel del mar.

3.- Para analizar las variables del estudio a los se les tomaran dos muestras de concentración de malondialdehído en aire espirado, la cual no es una medición invasiva, ya que solo deben respirar a través de una mascarilla alrededor de veinte minutos para medir el estrés oxidativo.

4.- Los participantes deberán informar durante el estudio sobre la existencia de algún cuadro clínico y no podrán consumir antioxidantes ni haber sido expuestos a altura por lo menos en los dos meses previos a la investigación.

-----  
*FIRMA VOLUNTARIO*

-----  
*FIRMA INVESTIGADORES*

-----  
Fecha

## ANEXO B. Tablas.

Tabla 1. Características de la Muestra.

Sujeto	Edad (años)	Talla (cms)	Peso (kgs)	IMC
1	15	163	56	21.07
2	19	189	76	21.27
3	17	171	65	22.22
4	19	172	64	21.63
5	16	169	53	18.55
6	16	174	59	19.48
7	17	166	62	22.49
8	19	173	60	20.04
9	16	176	69	22.27
10	21	175	63	20.57
<b>Promedio</b>	17.5	172.8	62.7	20.9
<b>Desviación estándar</b>	1.9	6.9	6.5	1.2

Tabla 2. Concentración de Malondialdehído en aire espirado pre y post realización de ejercicio (Santiago).

<b>V oluntario</b>	<b>Concentración de Malondialdehído (<math>\mu\text{M}</math>) pre ejercicio</b>	<b>Concentración de Malondialdehído (<math>\mu\text{M}</math>) post ejercicio</b>
1	0.0327	0.0281
2	0.0171	0.0109
3	0.0234	0.0421
4	0.0381	0.0346
5	0.0623	0.0623
6	0.0519	0.0242
7	0.0331	0.0241
8	0.0631	0.0511
9	0.0661	0.0481
10	0.0421	0.0541
<b>Promedio</b>	0.0430	0.0380
<b>Desviación estándar</b>	0.0172	0.0162

Tabla 3. Concentración de Malondialdehído en aire espirado pre y post realización de ejercicio (Lagunillas).

<b>V oluntario</b>	<b>Concentración de Malondialdehído (<math>\mu\text{M}</math>) pre ejercicio</b>	<b>Concentración de Malondialdehído (<math>\mu\text{M}</math>) post ejercicio</b>
1	0.0234	0.0421
2	0.0390	0.0421
3	0.0078	0.0265
4	0.0831	0.0969
5	0.0173	0.0415
6	0.0104	0.0242
7	0.0203	0.0239
8	0.0030	0.0180
9	0.0631	0.0661
10	0.0361	0.1263
<b>Promedio</b>	0.0303	0.0508
<b>Desviación estándar</b>	0.0257	0.0356

Tabla 4. Concentración de Lactato en sangre pre y post realización de ejercicio (Santiago).

**EFFECTO DEL EJERCICIO ANAERÓBICO Y DE LA ALTURA SOBRE LA CONCENTRACIÓN DE MALONDIALDEHÍDO EN AIRE ESPIRADO EN CICLISTAS**

<b>Voluntario</b>	<b>Concentración de Lactato (mg/dL) pre ejercicio</b>	<b>Concentración de Lactato (mg/dL) post ejercicio</b>
1	2.7	11.1
2	3.0	13.7
3	4.3	16.7
4	3.8	12.8
5	3.3	15.6
6	3.0	14.7
7	3.2	16.0
8	3.1	13.9
9	3.4	15.2
10	2.8	14.7
<u>Promedio</u>	3.2	14.4
<b>Desviación estándar</b>	0.4	1.6

**Tabla 5. Concentración de Lactato en sangre pre y post realización de ejercicio (Lagunillas).**

<b>Voluntario</b>	<b>Concentración de Lactato (mg/dL) pre ejercicio</b>	<b>Concentración de Lactato (mg/dL) post ejercicio</b>
1	2.4	15.5
2	2.0	10.9
3	1.8	19.1
4	1.4	15.0
5	1.4	17.2
6	1.2	16.4
7	1.8	22.0
8	1.4	13.9
9	2.1	15.8
10	2.4	16.3
<u>Promedio</u>	1.79	16.2
<b>Desviación estándar</b>	0.4	2.9

**Tabla 6. Ventilación pulmonar Santiago – Lagunillas.**

Voluntario	Ventilación (L/min) Santiago	Ventilación (L/min) Lagunillas
1	9.00	9.17
2	10.50	13.5
3	10.00	11.00
4	10.50	10.50
5	12.50	12.50
6	10.50	12.50
7	8.75	11.75
8	10.25	11.00
9	11.00	12.50
10	13.50	13.75
<b>Promedio</b>	10.65	11.82
<b>Desviación Estándar</b>	1.44	1.42

## ANEXO C. Fotos.



*Fig. A. Selección Chilena de Mountain Bike.*



*Fig. B. Toma de muestra de sangre para análisis de lactato.*



*Fig. C. Evaluación del ejercicio físico anaeróbico.*



*Fig. D. Toma de muestra de ventilación pulmonar.*