



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE MEDICINA

POSGRADO DE MEDICINA DEL DEPORTE

**ANALISIS COMPARATIVO DE PARAMETROS FISIOLÓGICOS EN REPOSO
AL ASCENDER DESDE EL TELEFERICO DE QUITO A UNA ALTITUD DE
2950 MSNM HASTA LA CIMA DEL VOLCAN RUCU PICHINCHA A 4696
MSNM ENTRE BOMBEROS AERONAUTICOS FISICAMENTE ACTIVOS DE
ENTRE 18 Y 55 AÑOS DEL AEROPUERTO MARISCAL SUCRE Y HOMBRES
SEDENTARIOS RESIDENTES EN QUITO DEL MISMO GRUPO ETAREO EN
EL MES DE MAYO DEL 2016.**

**DISERTACION PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE
ESPECIALISTA EN MEDICINA DEL DEPORTE**

La presente investigación se realizará en el Volcán Ruco Pichincha en la alta montaña
de los andes ecuatorianos.

Autor: Dr. Fernando Ferreira Tapia

Director: Dr. Oscar Concha

Director Metodológico: Dr. Marco Antonio Pino

Dedicatoria

Dedico esta tesis a toda mi familia, quienes fueron el impulso que me condujo a alcanzar este logro. Gracias por la paciencia y comprensión, y por el apoyo incondicional. Todo mi sacrificio fue por ustedes.

Agradecimientos.-

Agradezco la oportunidad que me ha dado la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, por ser alumno y poder cumplir con este sueño.

Este logro tampoco hubiese sido posible sin la apertura y confianza del director del posgrado, doctor Oscar concha Zambrano quien nos orientó en esta escuela de formación.

No me olvido de todos los profesores que han sido partícipes de mi formación, y de mis colegas de promoción con quienes hemos sembrado una amistad especial.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE CONTENIDO.....	4
Resumen	5
Sumaru.....	6
ABREVIATURAS	8
1. INTRODUCCION	9
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	13
3. JUSTIFICACIÓN	23
4. HIPÓTESIS	24
5. OBJETIVOS	24
6. METODOLOGÍA	24
6.1. Tipo de estudio	24
6.2. Criterios de inclusión	25
6.3. Criterios de exclusión.....	25
6.4. Universo y participantes	25
6.5. Procesamiento de la recolección de la información	26
6.5.1. Instrumento:	26
6.6. Plan de análisis de datos:	26
6.6.1. Programa estadístico	26
7. RESULTADOS:	29
8. DISCUSION	49
Aspectos administrativos y bioeticos	54
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	55
10. Bibliografía	56
11 .Anexos:	60

RESUMEN

Este proyecto de investigación tiene como objetivo identificar cómo se relaciona la acomodación de los sujetos con los cambios agudos de los parámetros fisiológicos que provoca la hipoxia por exposición a grandes alturas. Se trata de un estudio descriptivo que se aplicará en una muestra intencional no probabilística integrada por hombres sedentarios sanos visitantes ocasionales con fines recreacionales del teleférico de Quito por un lado, y un grupo equitativo de Bomberos Aeronáuticos del Servicio de Salvamento y Extinción de Incendios del Aeropuerto Mariscal Sucre que pertenecen al mismo grupo etario. Se medirán variables como la edad, el sexo, y los principales parámetros fisiológicos en reposo que afecta la hipoxia inducida por exposición a grandes alturas (saturación de oxígeno, frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria, glucosa capilar, pH y densidad urinaria y presión arterial). Los resultados obtenidos se evaluarán de forma comparativa para identificar la relación entre los cambios fisiológicos agudos debido a la exposición a grandes alturas en los dos grupos. La investigación se ejecutará durante el 1er semestre del 2016.

SUMMARY

The research project aims to identify how the accommodation of subjects with acute changes in physiological parameters hypoxia caused by exposure to high altitudes relates. This is a descriptive study to be applied in a non-probabilistic intentional sample consisting of healthy sedentary men casual visitors for recreational purposes Cable Car Quito on the one hand, and a fair group Fire Aeronautic the Rescue and Fire Fighting Airport Mariscal Sucre belonging to the same age group. Variables such as age, sex, and the main physiological parameters at rest that affects hypoxia induced by exposure to high altitude (oxygen saturation, heart rate, respiratory rate, blood glucose levels, pH and urine specific gravity and blood pressure) are measured. The results will be evaluated comparatively to identify the relationship between acute physiological changes due to exposure to great heights in the two groups. The investigation will run during the 1st half of 2016.

Lugar: Distrito Metropolitano de Quito, Teleférico de Quito.

Autor: Md. Fernando Ferreira.

Director Disertación:

Dr. Oscar Concha (Director del Postgrado de Medicina Deportiva de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador)

Director Metodológico:

Dr. Marco Antonio Pino (Docente de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador)

ABREVIATURAS:

Co2:..... dióxido de carbono

DEN:Densidad urinaria

FC:frecuencia cardiaca

FR:frecuencia respiratoria

MSNM:metros sobre el nivel del mar

O2:oxigeno

PCO2:presión parcial de dióxido de carbono

PO2:presión parcial de oxigeno

Sat O2:saturación de oxihemoglobina

TAD:..... tensión arterial diastólica

TAS:..... tensión arterial sistólica

CAPITULO I

1. INTRODUCCION

El hombre desde tiempos remotos ha luchado por alcanzar grandes alturas, conquistar cimas, contemplar el mundo desde distintos escenarios, pero en este empeño se han puesto de manifiesto las modificaciones orgánicas que se producen en condiciones de hipoxia, las cuales son muy complejas y en ocasiones conllevan a riesgos cuando las personas expuestas a dichas condiciones no han alcanzado la adecuada aclimatación orgánica ⁽¹⁾.

Vivir en un país andino tiene sus particularidades, como la posibilidad de acceder a ciudades sobre los 2500 metros sobre el nivel del mar (msnm) y así poder beneficiarse de un aliado importante en el proceso de entrenamiento: la altura ⁽²⁾.

Ecuador alberga a varios de los volcanes activos más altos del mundo, quienes lleguen a éstos desde el nivel del mar van a experimentar un cambio de altitud de casi dos millas en cuestión de horas ⁽³⁾.

Hoy en día gran parte de los vacacionistas eligen como destino turístico el paisaje montañoso pero cabe recordar que estos no están exentos de riesgos, ya que a medida que se viaja a regiones cada vez más altas, disminuyen la presión atmosférica y la presión parcial de oxígeno, lo que da lugar a una serie de alteraciones en el organismo que puede tener consecuencias graves ⁽⁴⁾.

Hasta los 20.000 metros la composición química de la atmósfera es prácticamente uniforme. Sin embargo, la presión y la densidad atmosférica son mayores en las capas superficiales de la corteza terrestre y disminuyen de forma exponencial con la altitud. Pero existen variaciones regionales; lo que explica por qué a una misma altitud, en algunos lugares hay bosques y en otros no ⁽⁵⁻⁶⁾.

Para comprender lo que sucede con el organismo humano, se debe tener presente que la altitud se clasifica teniendo en cuenta el lugar donde nos encontremos y desde el punto de vista biológico ⁽⁵⁾.

Según este último:

Baja Altitud: De 0 a 1.000 m, no produce ninguna modificación biológica, ni en reposo ni en el ejercicio.

Media Altitud: De 1.000 a 2.000 m, afecta levemente al rendimiento físico.

Moderada Altitud: De 2.000 a 3.000 m, afecta moderadamente al rendimiento físico.

Alta Altitud: De 3.000 a 5.500 m, modificaciones biológicas en reposo, muy acentuadas con el ejercicio.

Muy Alta o Extrema Altitud: De 5.500 m en adelante, negativo efecto sobre las funciones fisiológicas. Dificultad en la realización del ejercicio físico

Zona de la Muerte: De 7.500/8.000 m en adelante, grave deterioro de todos los tejidos, incompatibilidad con la vida, peligro de muerte.

Cuando se sube desde una cota de 800 metros a 3.600 de altitud muchas veces no se le da la importancia que merece, pero esos cambios de altitud suelen afectar al cabo del día o de una semana al organismo humano, por lo que se puede concluir que, “La altura afecta fuertemente a los humanos” ⁽⁷⁾.

Debido a la altitud, ocurre un descenso de la presión atmosférica; pero al ser la composición de la atmósfera constante, esto se traduce en una reducción de la presión parcial de cada gas incluyendo la presión del oxígeno; por lo tanto las moléculas de O₂ disponibles disminuyen, produciéndose en los organismos que se encuentren a esa altitud un estado de hipoxia relativa ⁽⁷⁻⁸⁾.

El organismo responde ante la hipoxia de altura mediante una serie de modificaciones a nivel cardiovascular, respiratorio, hematológico, metabólico y neurológico. Estos mecanismos se ponen en marcha ya a partir de los 3.000 metros, e intentan compensar el descenso del oxígeno ambiental ⁽⁹⁾.

La hipoxia es un estado en el cual existe un déficit de oxígeno en la sangre, células y tejidos del organismo, que conduce a una situación en la que no se realizan normalmente las funciones orgánicas ⁽⁸⁾.

Botella hace referencia a la hipoxia como una escasez de oxígeno en los tejidos corporales, que tiene diferentes causas, muy conocidas por los médicos pero para el montañero sano que asciende la alta montaña la causa más importante de hipoxia es la caída de la presión parcial de oxígeno con disminución de la presión atmosférica con la altitud ⁽¹⁰⁾.

Esta no es más que es el estado que presenta un organismo viviente sometido a un régimen respiratorio con déficit de oxígeno ⁽⁵⁾.

Miranda y Rawlings, en su investigación reconocen que ninguna especie animal asciende más allá de lo que le permite su capacidad de resistencia y de la seguridad que le ha conferido genéticamente la naturaleza. Pero para el hombre, la altura siempre ha sido un reto; y en su afán de conquistarla por todos los medios, para probar y aumentar su resistencia física, vence todas las barreras y obstáculos. Entre los factores más

limitantes a este desafío, ha sido su exposición aguda a la hipoxia, la cual el organismo debe vencer, poniendo en juego múltiples mecanismos para cumplir con un fin: Proporcionar el oxígeno suficiente a los tejidos ⁽¹¹⁾.

CAPITULO II REVISION BIBLIOGRAFICA

Marco Teórico

Altitud. Atmósfera

La atmósfera es una capa de gases que rodea a la tierra, aproximadamente hasta unos 20 km de altura, la mezcla atmosférica tiene una composición porcentual constante en sus principales constituyentes, así, Nitrógeno 78% (N), Oxígeno 21% (O₂), el 1% restante está representado por Argón 0.9% (Ar), Bióxido de Carbono 0.03% (CO₂), también se pueden encontrar distintas proporciones de vapor de agua, y trazas de Hidrógeno (H⁺), Ozono (O₃), Monóxido de Carbono (CO) Neón (Ne) Kriptón (Kr), Xenón (Xe) y Metilo (CH₃). La mezcla de gases atmosféricos tiene una masa y por lo tanto pesa. Este peso ejerce una fuerza sobre la superficie de la tierra, constituyendo así una presión. Para una mejor comprensión de su efecto y acción deben considerarse columnas de atmósfera ejerciendo presión sobre áreas de la tierra. La presión suele medirse en atmósferas (sistema internacional de unidades). A nivel del mar la presión atmosférica es de 760 mmHg o 1.013 milibares ⁽¹³⁾.

Se considera que hasta los 20.000 metros la composición química de la atmósfera es prácticamente uniforme. Sin embargo, la presión y la densidad atmosférica son mayores en las capas superficiales de la corteza terrestre y disminuyen de forma exponencial con la altitud. Pero existen variaciones regionales; lo explica por qué a una misma altitud, en algunos lugares hay bosques y en otros no ^(5,6).

Efectos fisiológicos más significativos causados por la altitud.

En la introducción se abordaron algunos de los cambios que ocurren en la altitud.

Algunos autores afirman que el factor físico más importante en la altitud es la disminución de la presión barométrica la cual es progresiva conforme subimos a mayores altitudes y que no solo en la altitud la presión atmosférica es la que se modifica, porque también disminuye la temperatura, la humedad relativa, la fuerza de gravedad y la resistencia del aire, mientras que las radiaciones aumentan ^(5 y 10).

Ante estos cambios el organismo debe responder y lo hace de dos maneras, una inmediata o aguda y una más duradera, a largo plazo o crónica ^(5, 14).

La respuesta aguda es aquella donde se ponen en marcha los mecanismos reguladores en el organismo como consecuencia de la exposición súbita a la altitud y se produce hasta el tercer día. Durante el reposo se produce un aumento de la ventilación pulmonar para contrarrestar los efectos de la disminución de PAO_2 (presión parcial del oxígeno), la frecuencia cardíaca aumenta y el agua intra y extracelular disminuye. Mientras que en el ejercicio la ventilación y frecuencia cardíaca están elevadas, por encima de los valores a nivel del mar para la misma carga de trabajo. Sin embargo estos cambios no logran compensar el efecto de la hipoxia ⁽⁵⁾.

La excreción constante de CO_2 en los alveolos generará lo que se conoce como $PACO_2$ y cuyo valor a nivel del mar y en un sujeto relajado es de 40mmHg. Este valor variará en dependencia a la frecuencia respiratoria: al aumentarse la frecuencia respiratoria se reduce la $PACO_2$. El ascenso a grandes altitudes como situación hipóxica provoca el incremento de la ventilación que origina una caída progresiva de la $PACO_2$, que será más acusada en individuos aclimatados porque éstos son capaces de aumentar, en mayor medida, su ventilación alveolar ⁽¹⁵⁾.

Como parte importante de la fisiología respiratoria no solo se deben tener en cuenta las presiones de los gases atmosféricos sino también la evaporación de agua por parte de las

superficies respiratorias como la excreción constante de CO₂ en los alveolos. Ambos contribuyen a la dilución del O₂ y el N₂ alveolar disminuyendo así las concentraciones de estos últimos. La evaporación de agua por parte de las superficies respiratorias genera lo que se conoce como presión del vapor de agua, cuyo valor es de 47mmHg con independencia de la altura y siempre que la temperatura corporal sea de aproximadamente 37°C ⁽¹⁶⁾.

Habitualmente se observan algunos síntomas como consecuencia de esta respuesta fisiológica. Aparece el insomnio, cefaleas, vértigo, apatía, falta de apetito, fatiga prematura durante los esfuerzos físicos, bronco espasmo, taquicardias, hipertensión arterial; los cuales mejoran con la aclimatación gradual y no suelen tener complicaciones en altitudes moderadas ⁽⁵⁾.

Mientras que la respuesta crónica son cambios que se producen a partir del tercer día en la altitud, en esta comienza la aclimatación y la adaptación ⁽⁵⁾.

La literatura plantea que una aclimatación progresiva es lo más importante para evitar los síntomas que aparecen por la altitud ⁽¹⁷⁾.

Para entender este proceso se debe aclarar que la aclimatación es una adaptación a la hipoxia, considerándose necesario un período de 4 a 8 semanas en altitud para completarla. Además que suele haber una mejor aclimatación en cada nueva ascensión, aunque transcurran varios meses, denominándose a este fenómeno “memoria de la aclimatación” ⁽⁵⁾.

Unos 140 millones de personas viven a alturas mayores de 2500 msnm, y en los Andes hay poblaciones estables a más de 4.900 m, independientemente de que la gran altitud provoque hipoxia y esto sucede por el proceso de aclimatación; de hecho, algunos alpinistas han vivido varios días a altitudes que harían perder el conocimiento en

cuestión de segundos a una persona no aclimatada. La permanencia prolongada a grandes alturas hace que el organismo por diversos mecanismos se acomode a dichas condiciones de PAO_2 bajas permitiendo que la persona trabaje sobrellevando los efectos de la hipoxia, o pueda ascender a alturas todavía mayores ⁽¹⁸⁾.

En tanto la adaptación es el desarrollo de ciertas características anatomofisiológicas, provocadas por los agentes estresantes del ambiente como la falta de O_2 y que permiten al ser vivo vivir en altitud sin necesidad de cambios en su organismo ^(5, 19).

En la bibliografía revisada se señala que estas adaptaciones son progresivas, genéticamente fijadas y permanentes. Además que la capacidad de adaptación puede ser un rasgo genéticamente fijado de un individuo o de una especie ⁽⁵⁾.

Los cambios que se producen en la respuesta crónica están presentes en casi todos los sistemas del organismo como en la respiración aumentando la captación de oxígeno donde la hiperventilación pulmonar y el enlentecimiento de la circulación pulmonar aumentan el tiempo de intercambio gaseoso ⁽¹⁰⁾.

A su vez el gasto cardiaco disminuye en unos 3 a 6 días aunque puede permanecer así en largos periodos después de acercarse al nivel del mar; mientras que la frecuencia cardiaca aumenta llegando a valores de 135 latidos por minuto como mecanismo de protección ^(10, 17). Por otra parte la producción de glóbulos rojos aumenta, notándose a partir de los 15 días, así como el riego sanguíneo del cerebro, corazón, pulmones y riñones ^(5, 10, 17).

Es de señalar que algunos de estos mecanismos no se dan de forma aislada sino que aparecen simultáneamente con la exposición a la altitud y otros surgirán a lo largo de varias semanas.

Cuando existen alteraciones de los mecanismos antes señalados ya sea por exceso o por defecto se provocan trastornos de gravedad variables como es el conocido mal agudo de montaña (MAM). Esta entidad es muy frecuente a partir de los 2.500m de altitud, aparece a pocas horas (4-24h) de exponerse un individuo a la altitud ^(10,17).

La capacidad física en altitud. El consumo máximo de O₂ que mide la capacidad física disminuye progresivamente en altitud ⁽²⁰⁾.

Mal Agudo de Montaña (MAM)

El mal agudo de montaña se conoce desde tiempos remotos. La primera referencia en lengua castellana fue tal vez el relato hecho por Diego Ordaz al regresar del Popocatépetl en 1519. Pero sin embargo la que es aceptada internacionalmente como primera referencia por la trascendencia que tuvo en la ciencia europea de la época es la descripción del jesuita español José de Acosta (1540-1600), de su viaje por América del Sur, en un lugar llamado Pariacaca a una altitud cercana a los 4500 MSNM ⁽¹⁰⁾.

Este conocido mal de altura, aumenta su frecuencia a medida que aumenta la altitud, puede afectar al 30% de las personas expuestas bruscamente a 3.000 metros, mientras que a 4.500m puede verse afectados el 75%, y al 100% a más de 5000 metros ⁽⁵⁾.

La literatura aclara que enfermedades crónicas como la diabetes, el asma y la hipertensión arterial si están bien controladas y con un estricto seguimiento médico, no están contraindicadas con la altitud, pero enfermedades cardíacas en las que ha existido fallo cardíaco como el infarto de miocardio y la angina de pecho, sí lo están ⁽⁵⁾.

También que los individuos jóvenes y niños se exponen más a la altura, probablemente por ello el MAM sea más frecuente en este grupo de población, afectando por igual a mujeres y a hombres. Se cree que con la edad la susceptibilidad de sufrirlo tiende a disminuir, aunque no existen estudios concluyentes ⁽⁵⁾.

Es importante tener presente que esta susceptibilidad es individual y no está relacionada con el tabaquismo, el asma, el entrenamiento físico o el consumo máximo de oxígeno (índice de entrenamiento aeróbico) ⁽⁵⁾.

Se caracteriza por una sintomatología variada y de diferentes grados, existiendo dos formas graves que pueden producir la muerte y precisan una actuación urgente: el edema pulmonar de la altitud (EPA) y el edema cerebral de la altitud (ECA), las que constituyen las principales causas de fallecimiento no traumático en alpinistas ^(5, 11, 20).

El síntoma más frecuente es la cefalea, causada por la hipoxia cerebral; habitualmente pulsátil, frontal y bilateral, con el ejercicio empeora, mientras que con el reposo y analgésicos suele ceder ^(5, 10). Cuando despierta por la noche, persiste por la mañana o no mejora con analgésicos, indica un MAM grave, premonitorio de un edema cerebral de altitud por lo que es necesario descender al menos 500m y esperar su desaparición ⁽⁵⁾.

Las náuseas y vómitos también son frecuentes, pueden favorecer la deshidratación y estar acompañadas de digestiones pesadas y aerofagia ⁽⁵⁾, cuando aparece el vómito no se debe interpretar como que un alimento asentó mal, sino como una manifestación de insuficiente adaptación a la altitud ⁽¹⁰⁾.

Al aumentar la altitud se incrementa la anorexia, la que suele ser constante en el MAM ^(5,9). Botella ⁽¹⁰⁾ plantea que esta se debe a la propia altitud y que se ha demostrado en experimentos realizados en cámara hipobárica; estos sujetos comen menos y pierden peso, a pesar de ofrecérseles alimentos apetitosos y a la carta.

A veces es difícil de distinguir el cansancio por esfuerzo de la fatiga anormal que se caracteriza por cansancio, debilidad e indiferencia; pudiendo llegar a un nivel extremo, hasta el punto de no levantarse para comer, rechazar la ingesta líquida y no sentir ganas de orinar durante horas, es muy probable la aparición en las próximas 24 horas de un

coma por edema cerebral de altitud, obligando el descenso ⁽⁵⁾. Además Botella ⁽¹⁰⁾ hace alusión a que este cansancio es tal que a veces ni para evitar un peligro evidente se puede dar un paso.

En reposo hay disnea, con sensación de falta de aire, pero si se acompaña de tos, opresión torácica y taquicardia puede ser premonitorio de un edema pulmonar de altitud, por lo que se debe descender de inmediato. La respiración suspirosa, con inspiraciones profundas, suele corresponder a la respiración periódica de altitud, sin riesgo si se controla la ansiedad que produce ^(5, 10).

Durante la primera semana en altitud es frecuente presentar insomnio con respiración periódica, dificultad en la conciliación del sueño, despertares nocturnos y sensación de falta de aire que tienden a desaparecer en la segunda semana. Aunque una respiración periódica, cortada por intervalos largos sin respirar, observable por los compañeros despiertos, se produce en el MAM, es común en altitud y como fenómeno aislado no tiene gran importancia ^(5,10).

También los afectados por el MAM suelen presentar edemas en partes declives, alrededor de los ojos y edema generalizado, por retener más agua y sodio en el organismo, produciéndose una mala distribución de líquidos, con aumento de estos en los tejidos corporales y disminución del volumen circulante en la sangre, es decir hipovolemia relativa ^(5, 10).

Por otro lado se puede presentar oliguria y cuando la cantidad de orina diaria sea inferior a 800ml constituye un signo de deshidratación o MAM grave. Si no aumenta la diuresis al incrementar la ingesta líquida, es necesario descender hasta su normalización ⁽⁵⁾.

El MAM presenta signos que no son visibles a la observación simple, como es el caso de las hemorragias retinianas que aparecen en los primeros días de estancia en altitud, suelen ser asintomáticas y sólo se descubren con un examen de fondo del ojo. Estas hemorragias están relacionadas con el incremento del flujo sanguíneo y la presión hidrostática en los vasos retinianos, cuando afectan a la mácula densa, el individuo percibe visión borrosa, pérdida de visión en una zona del campo visual las que pueden dejar secuelas en algunos casos ^(5,10).

Los trastornos de la coordinación son frecuentes en esta situación, apareciendo ataxia, manifestándose por alteración en la marcha y en la coordinación de movimientos, esto se produce por afectación del área del cerebelo, advirtiéndose un edema cerebral de altitud en evolución. Es obligatorio un descenso inmediato. El vértigo suele estar presente y es una manifestación leve de incoordinación ^(5,10).

En 1936, Forbes describe que la exposición aguda a la altura induce un descenso en la glucemia y mejora la respuesta a la prueba de tolerancia oral a la glucosa ⁽²⁰⁾.

Prevención del MAM.

Es importante considerar que la principal prevención para no padecer el MAM es la aclimatación y que existen normas generales aconsejables para conseguir un buen desarrollo de la aclimatación, muy válidas para estancias en altitud ⁽⁵⁾.

Teniendo en cuenta que la hipoxia empeora durante la noche en situaciones superiores a los 3.500 m, se recomienda dormir a no más de 300/350 m por encima de la altitud donde se pasó la noche anterior, aunque de día se alcancen cotas más altas. Es importante ascender de día para estimular la aclimatación y dormir en cotas más bajas. “Escalar alto y dormir bajo”, se debe ganar altitud gradualmente ^(5,10, 18)

Durante la aclimatación es aconsejable dosificar el esfuerzo físico por el aumento que produce en la presión pulmonar y el consumo de oxígeno, pudiendo empeorar el MAM, se debe caminar despacio y evitar sobrecargas físicas innecesarias ^(5,16).

Las dietas hiperglucídicas en la altitud son mejor toleradas por el sistema digestivo, se recomienda un mínimo de aporte proteico de 1g/Kg de peso/día y solamente en caso de frío intenso ingerir grasas ⁽²³⁾.

También el aumento de la secreción de adrenalina incrementa el consumo de oxígeno y puede empeorar el MAM por lo que evitar situaciones conflictivas y de angustia ayuda a una buena aclimatación ⁽⁵⁾.

Se debe proteger de las radiaciones solares directas o por reflexión sobre la nieve para evitar el aumento de la temperatura corporal y las quemaduras las que no favorecen la aclimatación ^(5, 10).

Es muy importante hidratarse y beber varios litros de agua al día aunque no se tenga sed ^(5,10).

Tratamiento del MAM.

El único tratamiento curativo y el menos agresivo para el mal agudo de montaña es el descenso de la altitud. Está indicado el reposo, rehidratación oral, dieta rica en glúcidos y analgésicos menores en la forma moderada de MAM; desapareciendo los síntomas a los 3 o 4 días, momento en el que se puede reanudar el ascenso. En la forma grave es aconsejable el descenso para prevenir el empeoramiento, también la rehidratación oral con glúcidos y el tratamiento farmacológico. Ante la presencia de signos de alarma (edema pulmonar o cerebral) cualquier retraso (horas) en el descenso puede causar la muerte ^(5, 10, 22, 23).

Algunos autores plantean que eventualmente, un tratamiento en cámara hiperbárica portátil de una a tres horas suele producir una mejoría provisional y facilitar un descenso a pie ⁽⁵⁾.

Entrenamiento previo.

En el estudio: Consumo máximo de oxígeno en respuesta a la exposición a una altura moderada; efecto del entrenamiento previo, se compara un grupo de personas sometidas a entrenamiento aeróbico regular con otro grupo de no entrenados, en base a la disminución del Vo2max en exposición a una altura moderada. Se concluye que el nivel de entrenamiento aeróbico no influye en la disminución que experimenta el Vo2max en relación con la exposición a la altura. (Modificado de 11).

CAPITULO III. JUSTIFICACION Y METODOLOGIA

MATERIALES Y METODOS

2. JUSTIFICACIÓN

El presente estudio se basa en el análisis de los cambios en los parámetros fisiológicos que provoca la hipoxia inducida en habitantes del Distrito Metropolitano de Quito que ascienden al Volcán Rucu Pichincha, y su relación con la actividad física programada y habitual. Ecuador es un país que cuenta con una infinidad de recursos naturales, en sus 4 regiones geográficas, los cuales están a disposición de todos nosotros. En la región central del país, el paso de la cordillera de los Andes nos ofrece paisajes dignos de visitar, así como disfrutar de actividades al aire libre como senderismo, fotografía, camping, pesca y observación de fauna y flora autóctonas. Pero detrás de estos majestuosos tesoros naturales, existen riesgos potenciales a la salud de los visitantes que se exponen a diversos factores geográficos y climáticos. La Ley del Deporte, Educación Física y Recreación (2010) establece que la recreación comprenderá todas las actividades físicas lúdicas que empleen el tiempo libre de una manera planificada, buscando un equilibrio biológico y social en la consecución de una mejor salud y calidad de vida. Estas actividades incluyen las organizadas y ejecutadas por el deporte barrial y parroquial, urbano y rural. A partir de ello es válido estudiar cuales son las modificaciones que se producen en el organismo de aquellas personas visitantes ocasionales de las montañas más altas del Ecuador con fines recreacionales y ayudar a despejar las incógnitas que existen sobre la exposición humana a la hipoxia ambiental, ya que aún es muy grande la brecha del conocimiento sobre este tema en el país. Es por ello que se realiza la presente investigación, planteando la siguiente interrogante.

3. HIPÓTESIS

La exposición brusca a grandes alturas causa en las primeras horas una disminución en la saturación de la hemoglobina, aumento de la frecuencia respiratoria y de la frecuencia cardiaca en reposo en el grupo de sedentarios y entrenados debido al estrés hipoxico, pero estos cambios son más acentuados en los sedentarios.

Se trata de una hipótesis unilateral de acuerdo a los datos bibliográficos.

4. OBJETIVOS

5.1 Medir y comparar los cambios fisiológicos al ascender una altura de 1746 metros en dos poblaciones, desde los 2950msnm hasta los 4696 msnm.

5.2 Determinar el rol que juega el entrenamiento físico programado en los cambios fisiológicos en la altura, en comparación con la población sedentaria.

6. METODOLOGÍA

6.1. Tipo de estudio

- ✓ **Estudio transversal**
- ✓ **Diseño cuasi experimental grupo control no equivalente**
- ✓ *LUGAR:* Teleférico de Quito y volcán Ruco Pichincha
- ✓ *TIEMPO:* Mes de Mayo del 2016

6.2. Criterios de inclusión

Habitar en el Distrito Metropolitano de Quito y ser hombre sedentario sano de entre 18 y 55 años.

Habitar en el Distrito Metropolitano de Quito y pertenecer al grupo de bomberos del Servicio de Salvamento y Extinción de Incendios del Aeropuerto Mariscal Sucre.

No haber ingerido café o alcohol durante las 12 horas previas a la evaluación.

Haber manifestado su consentimiento en participar del trabajo de investigación.

6.3. Criterios de exclusión

- Presentar enfermedad que modifique en estado previo los parámetros fisiológicos analizados (Trastornos respiratorios crónicos, Enfermedades cardiovasculares descompensadas).
- Haber recibido entrenamiento previo para adaptarse a las alturas como es el caso de los deportistas de alto rendimiento, etc.
- Haber ingerido algún tipo de medicamentos.
- Habérsele administrado contraste radiológico.

6.4. Universo y participantes

Para el cálculo muestral se usó el EPI Info Unmatched Case Control Study (Comparison of ILL and NOT ILL), con los siguientes datos:

La muestra de estudio estará representada por dos grupos de voluntarios; un grupo de casos integrado por cuarenta bomberos aeronáuticos que forman parte del Servicio de Salvamento y Extinción de Incendios del Aeropuerto Mariscal Sucre,

y un grupo control representado por cuarenta hombres voluntarios sedentarios residentes en Quito.

6.5. Procesamiento de la recolección de la información

6.5.1 Fuentes:

Los datos generales de cada sujeto se recogieron en un modelo especialmente diseñado para esta investigación. Los parámetros fisiológicos se midieron mediante los procedimientos e instrumentos convencionalmente establecidos para ello.

La recolección de la información se realizó en base a determinaciones de parámetros fisiológicos en el campo en reposo, los cuales se plasmarán en la carilla 2 del consentimiento informado. Inicialmente se hizo en el dispensario médico de las oficinas, en la entrada al Teleférico.

Para medir la tensión arterial, la saturación de oxígeno y la frecuencia cardiaca y respiratoria se mantendrá al sujeto en reposo sentado durante 20 minutos.

La glucosa capilar se medirá utilizando tirillas reactivas para glucosa capilar y su analizador instantáneo respectivo, previa asepsia de la piel con alcohol.

La densidad y pH urinario se medirán utilizando tirillas reactivas para este fin.

Posteriormente, la recolección de datos se repetirá en la cumbre del Volcán Rucu Pichincha, para poder hacer la comparación y determinar las variaciones de los mismos.

6.5.1. Instrumento:

6.6. Plan de análisis de datos:

Para comparar la capacidad diagnóstica de las pruebas se realizó:

✓ **Estadístico Wilcoxon**

✓ Prueba U de Mann-Whitney

6.6.1. Programa estadístico.

SPSS IBM versión 23, para tabulación de variables además de elaboración de la base de datos.

Operacionalización de variables

Variable	Tipo	Definición	Escala	Indicador
Edad	Cuantitativa discreta	Años cumplidos desde el nacimiento	18-55 años	Frecuencia y Porcentaje
Saturación de oxígeno	Cuantitativa discreta	Cantidad de oxígeno que se combina, en el sentido químico, con la hemoglobina para formar la oxihemoglobina	96- 99 % 95-90 % <90 %	Frecuencia y Porcentaje
Frecuencia cardíaca en reposo	Cuantitativa discreta	Contracciones del corazón o pulsaciones por unidad de tiempo	Bradicardia: <60 r/min Normal: 60- 80 l/min Taquicardia: > 80 l/min	Frecuencia y Porcentaje
Frecuencia Respiratoria en reposo	Cuantitativa discreta	Número de respiraciones en un lapso de tiempo específico	Bradipnea: < 12 r/min Normal: 12-20 r/min Taquipnea: > 20 r/min	Frecuencia y Porcentaje
Glucosa capilar	Cualitativa ordinal	Cantidad de azúcar en la sangre extraída de los vasos capilares	Hipoglucemia: <70 mg/dl Normal: 70 – 139 mg/dl Hiperglucemia: >140mg/dl	Frecuencia y Porcentaje
Densidad Urinaria	Cuantitativa discreta	Grado de concentración de la muestra de orina	1000,1005, 1010, 1015, 1020, 1025, 1030.	Frecuencia y porcentaje
pH urinario	Cuantitativa discreta	Logaritmo negativo de la concentración de hidrogeniones de la orina	5, 6, 7, 8, 9	Frecuencia y porcentaje

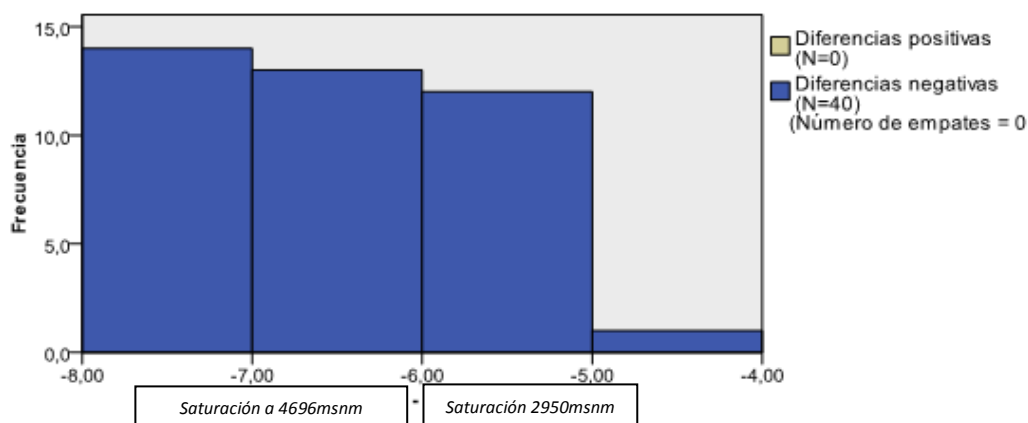
Presión Arterial Sistólica	Cualitativa ordinal	Fuerza que ejerce la sangre contra las paredes de las arterias en la fase sistólica del ciclo cardiaco	Normal:<120 mm Hg Pre hipertensión: entre 120 y 139 mm Hg Hipertensión: 140 mm Hg o mas	Frecuencia y Porcentaje
Presión Arterial Diastólica	Cualitativa ordinal	Fuerza que ejerce la sangre contra las paredes de las arterias en la fase diastólica del ciclo cardiaco	Normal:<80 mm Hg Pre hipertensión: entre 80 y 89 mm Hg Hipertensión: 90 mm Hg o mas	Frecuencia y Porcentaje

CAPITULO IV. RESULTADOS DEL ESTUDIO

6. RESULTADOS:

En una primera instancia abordaremos los resultados encontrados en el grupo de entrenados.

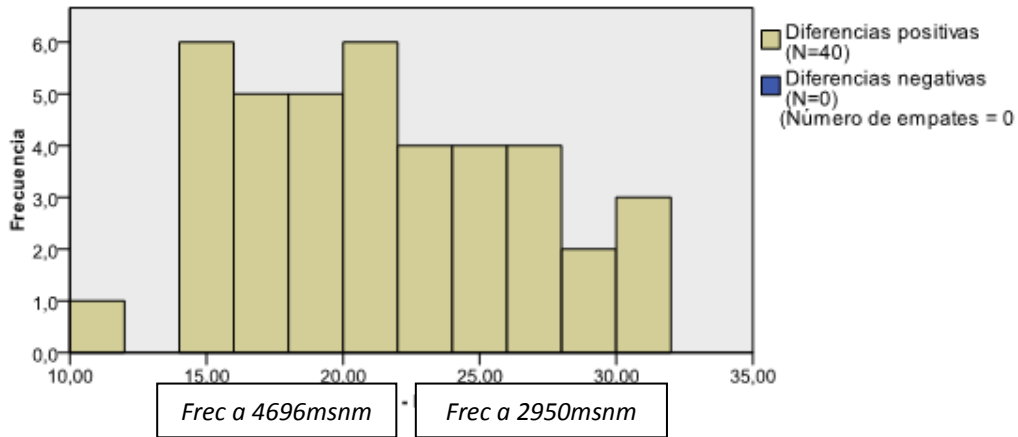
Ilustración 1 Variación de Saturación en entrenados.



*msnm: metros sobre el nivel del mar.
Sat: Saturación de oxígeno en reposo
N: participantes*

El presente grafico hace referencia a la disminución de la saturación de oxígeno, en una muestra de 40 participantes del grupo entrenados. Como se puede ver, la saturación a la altura de 2950msnm, presenta una diferencia de 8% en una frecuencia de 14 tras el ascenso a los 4696 metros sobre el nivel del mar. Con una $p < 0.05$, lo que nos indica que los datos resultados no se deben al azar.

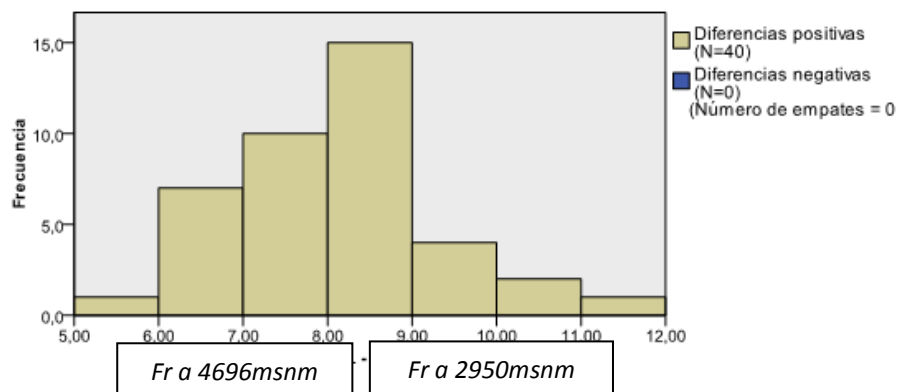
Ilustración 2 Variación de Frecuencia cardiaca en entrenados.



*msnm: metros sobre el nivel del mar.
Frec: Frecuencia cardiaca en reposo
N: participantes*

En el caso de la variación de la frecuencia cardíaca en entrenados con la hipoxia hipobárica, el aumento de esta variable fue general en todos los participantes. La mayor frecuencia fue de 6 para aumentos de 16 y 22 mmHg. Se encontró una $p < 0.05$ estadísticamente significativa.

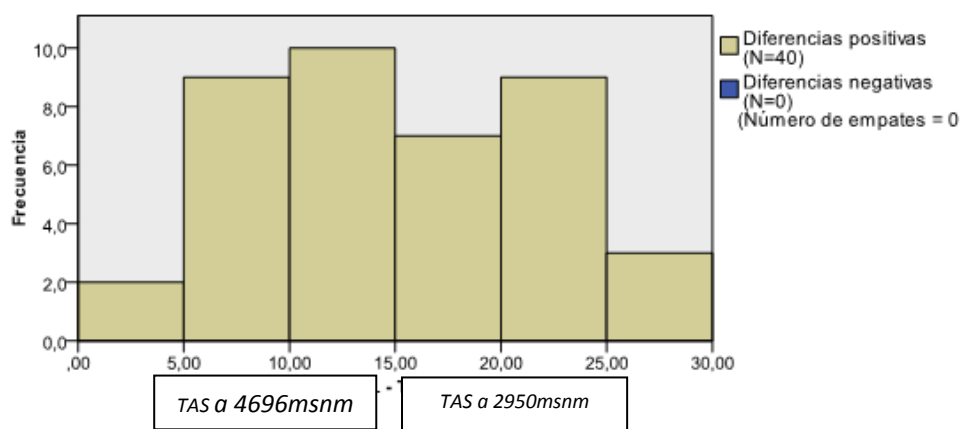
Ilustración 3 Variación de Frecuencia respiratoria en entrenados.



*msnm: metros sobre el nivel del mar.
Fr: Frecuencia respiratoria en reposo
N: participantes*

La figura muestra que en la variable frecuencia respiratoria en entrenados la mayor frecuencia fue de 15 y hubo un aumento de 9 respiraciones por minuto al ganar altitud en el grupo entrenado, resultando en una $p < 0.05$. Todos los participantes sufrieron un aumento en esta variable. Este aumento varía desde 6 hasta 12 respiraciones por minuto. Las diferencias son estadísticamente significativas.

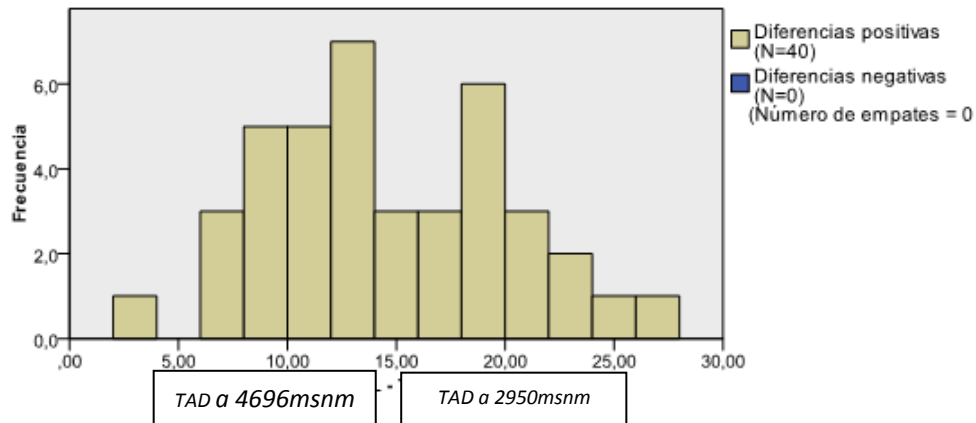
Ilustración 4 Variación de Tensión arterial sistólica en entrenados.



*msnm: metros sobre el nivel del mar.
TAS: Tensión arterial sistólica
N: participantes*

Este gráfico que nos muestra los cambios en la presión arterial sistólica con una mayor frecuencia observada fue de 10, con un aumento de 15 mmHg en los participantes entrenados al llegar a los 4696msnm. Los resultados son estadísticamente significativos, con una $p < 0.05$.

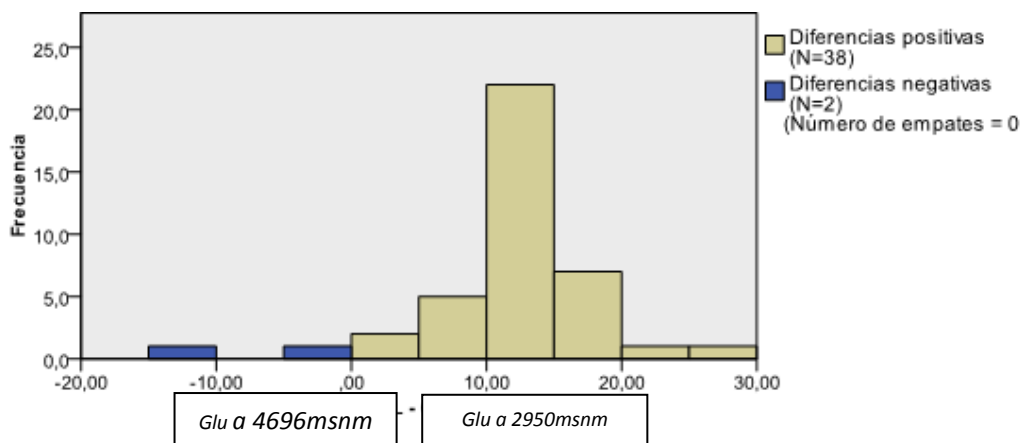
Ilustración 5 Variación de Tensión arterial diastólica en entrenados.



*msnm: metros sobre el nivel del mar.
TAD: Tensión arterial Diastólica
N: participantes*

Esta ilustración nos indica que al ganar 1746 metros de altitud, hubo un aumento de la presión arterial diastólica en todos los participantes entrenados, con una mayor frecuencia de 7 para un aumento de 14 mmHg. Los resultados son estadísticamente significativos, con una $p < 0.05$.

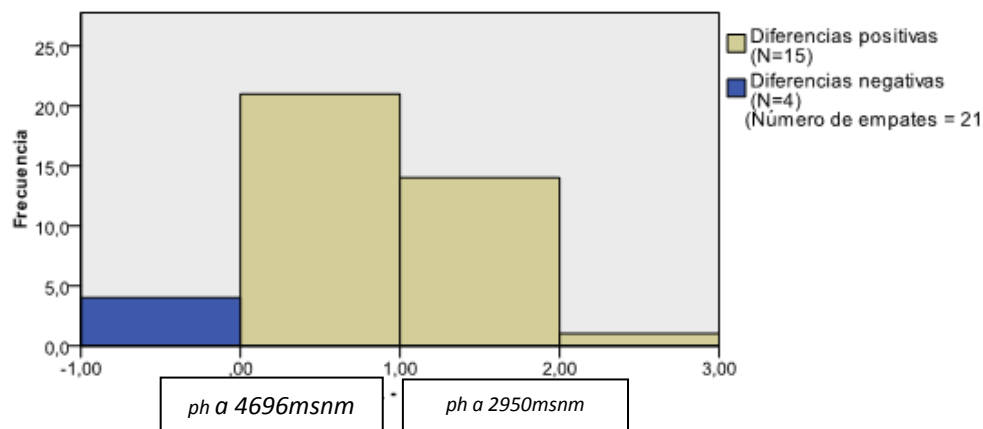
Ilustración 6 Variación de Glucosa capilar en entrenados.



*msnm: metros sobre el nivel del mar.
Glu: Glucosa capilar
N: participantes*

Con respecto a la variación de la glucosa capilar en entrenados, la ilustración nos muestra que la mayor frecuencia observada fue de 22, con un aumento de 15 mg/dl. Los resultados son estadísticamente significativos con una $p < 0.05$. Si bien en una frecuencia de 1 se registran descensos de 5 y 15 mg/dl respectivamente, se concluye que al ascender desde los 2950msnm hasta los 4696msnm, hay un aumento en la glucosa capilar en entrenados que no se debe al azar.

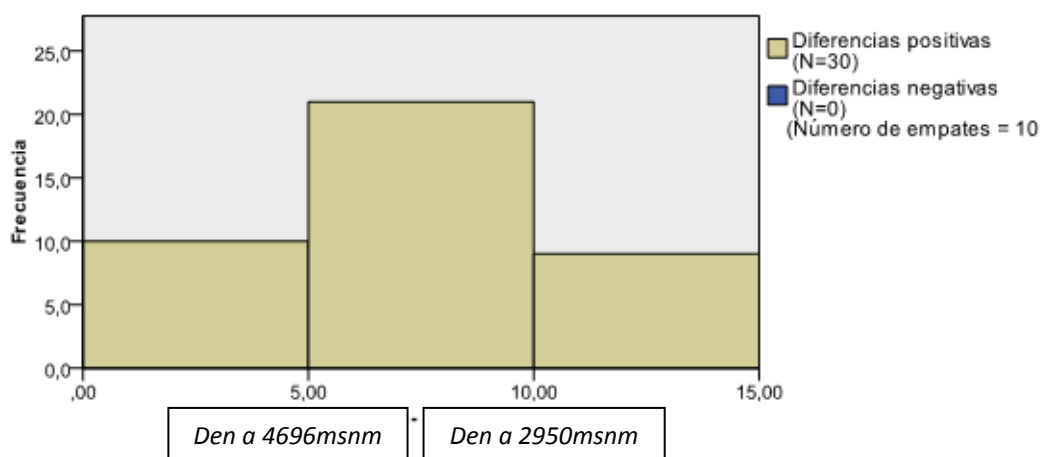
Ilustración 7 Variación de pH urinario en entrenados.



*msnm: metros sobre el nivel del mar.
pH: pH urinario
N: participantes*

En la variable pH urinario en el grupo casos, la mayor frecuencia fue de 20 con un aumento de 1 valor al ascender, hubo disminución de un valor con una frecuencia de 4, y no se registraron cambios en una frecuencia de 21. Con respecto a esta variable, se encontró una $p > 0.05$ y los resultados fueron no estadísticamente significativos.

Ilustración 8 Variación de Densidad urinaria en entrenados.



*msnm: metros sobre el nivel del mar.
Den: Densidad urinaria N: participantes*

El gráfico correspondiente a la interpretación de la densidad urinaria en entrenados confirma una significancia estadística con $p > 0.05$. La mayor frecuencia fue de 21 con un aumento en 0.010 en la densidad urinaria y se registraron 10 casos sin cambios. Se obtuvo una $p > 0.05$ estadísticamente significativa.

TABLA 1.

Análisis estadístico de las variables consideradas para muestras relacionadas, grupo entrenados.

Variable	N (grupo entrenados)	Error estándar	Significación asintótica (valor p)
Sat en reposo	40	73,463	0,000
Fc en reposo	40	73,344	0,000
Fr en reposo	40	73,729	0,000
Tas en reposo	40	73,360	0,000
Tad en reposo	40	73,358	0,000
Gluc	40	74,292	0,000
Den	40	22,279	0,011
pH	40	46,435	0,000

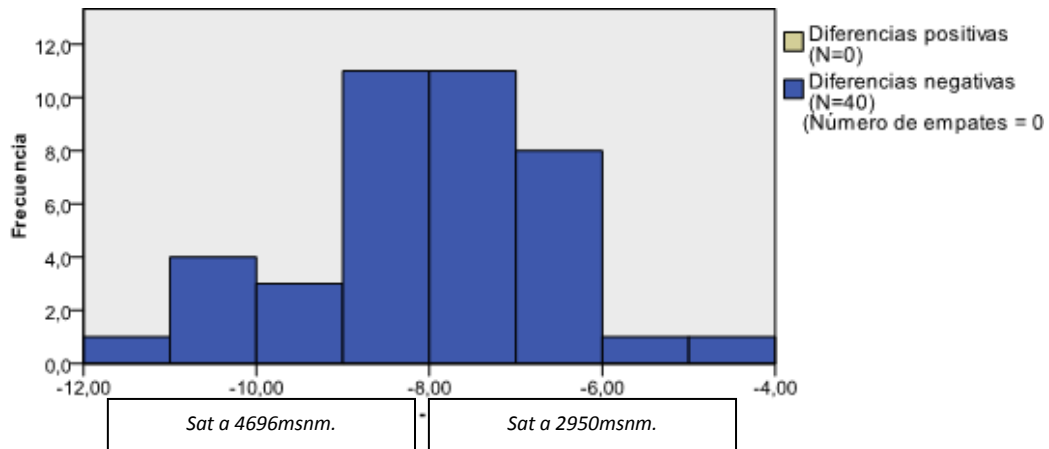
N integrantes del grupo entrenados

Números sombreados Valores estadísticamente significativos ($p < 0,005$)

Sat: saturación de oxígeno. Fc: frecuencia cardíaca. Fr: frecuencia respiratoria. Tas: tensión arterial sistólica. Tad: Tensión arterial diastólica. Glu: glucosa capilar. Den: densidad urinaria. pH: pH urinario.

En segunda plana, analizaremos las variables del grupo de sedentarios.

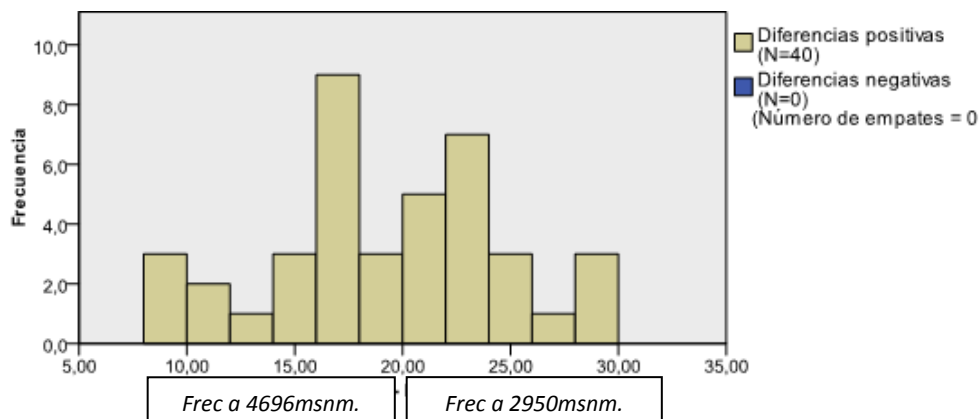
Ilustración 9 Variación de Saturación en sedentarios.



msnm: metros sobre el nivel del mar.
 Sat: Saturación de oxígeno en reposo
 N: participantes

El presente grafico hace referencia a la disminución de la saturación de oxígeno, en una muestra de 40 participantes del grupo sedentario. Como se puede ver, la saturación a la altura de 2950msnm, presenta una diferencia de 8% y 9% en una frecuencia de 11 tras el ascenso a los 4696 metros sobre el nivel del mar. Con una $p < 0.05$, lo que nos indica que los datos resultados no se deben al azar.

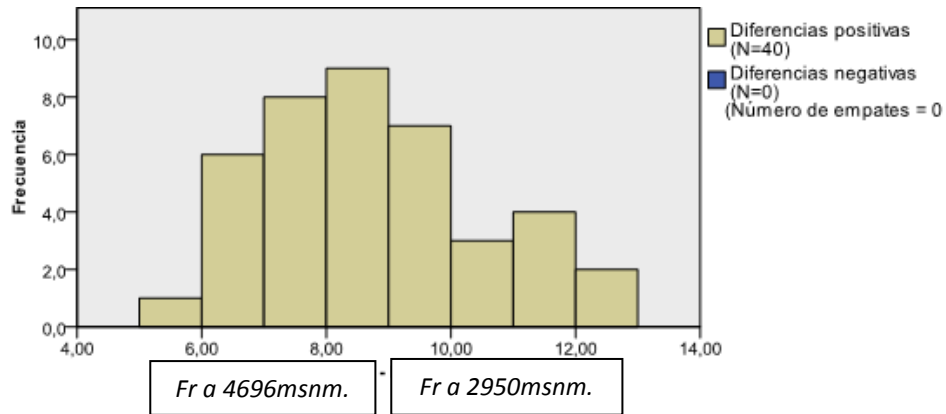
Ilustración 10 Variación de Frecuencia cardiaca en sedentarios.



msnm: metros sobre el nivel del mar.
 Frec: Frecuencia cardiaca en reposo
 N: participantes

En el caso de la variación de la frecuencia cardíaca no entrenados con la hipoxia hipobárica, el aumento de este parámetro fue generalizada en todos los participantes. Se encontró una $p < 0.05$ estadísticamente significativa.

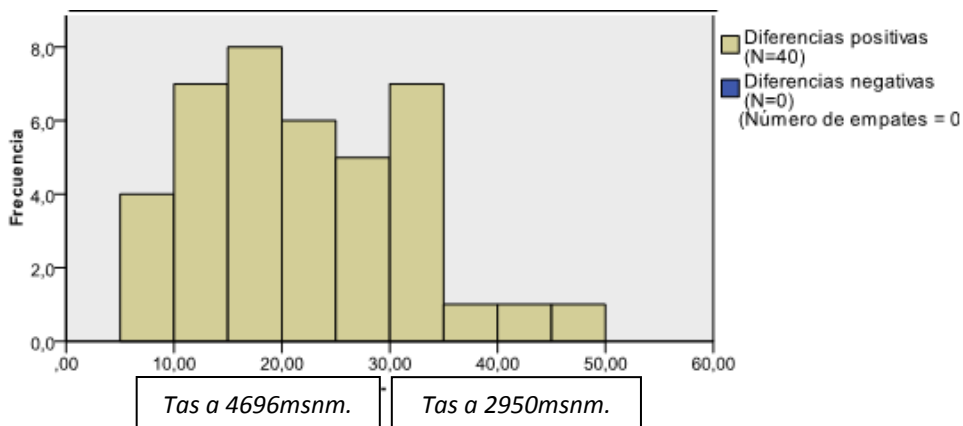
Ilustración 11 Variación de Frecuencia respiratoria en sedentarios.



*msnm: metros sobre el nivel del mar.
Fr: Frecuencia respiratoria en reposo
N: participantes*

La figura muestra que en la mayor frecuencia encontrada fue de 9 y hubo un aumento de 9 respiraciones por minuto al ganar altitud, resultando en una $p < 0.05$. Todos los participantes sufrieron un aumento en esta variable. Este aumento varía desde 6 hasta 13 respiraciones por minuto.

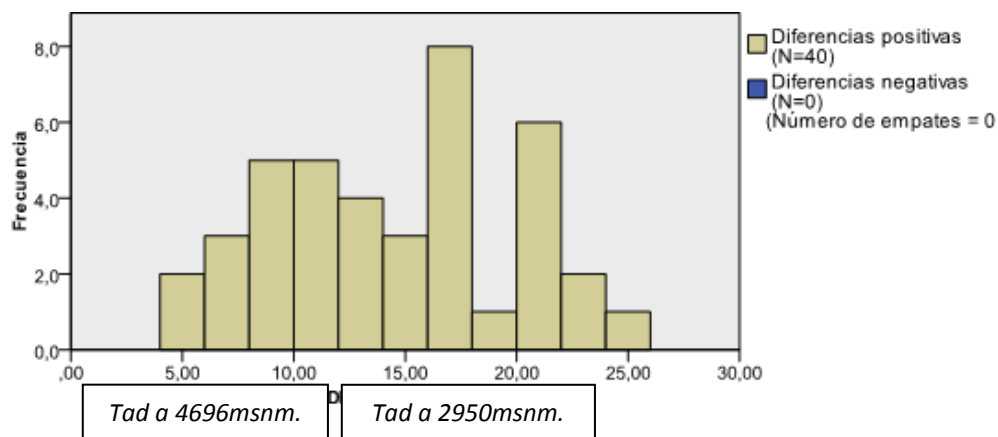
Ilustración 12 Variación de Tensión arterial sistólica en sedentarios.



*msnm: metros sobre el nivel del mar.
Tas: Tensión arterial sistólica en reposo
N: participantes*

Este grafico nos muestra los cambios en la presión arterial sistólica en los participantes sedentarios al llegar a los 4696msnm. La mayor frecuencia observada fue de 8, con un aumento de 20 mmHg. Los resultados son estadísticamente significativos, con una $p < 0.05$.

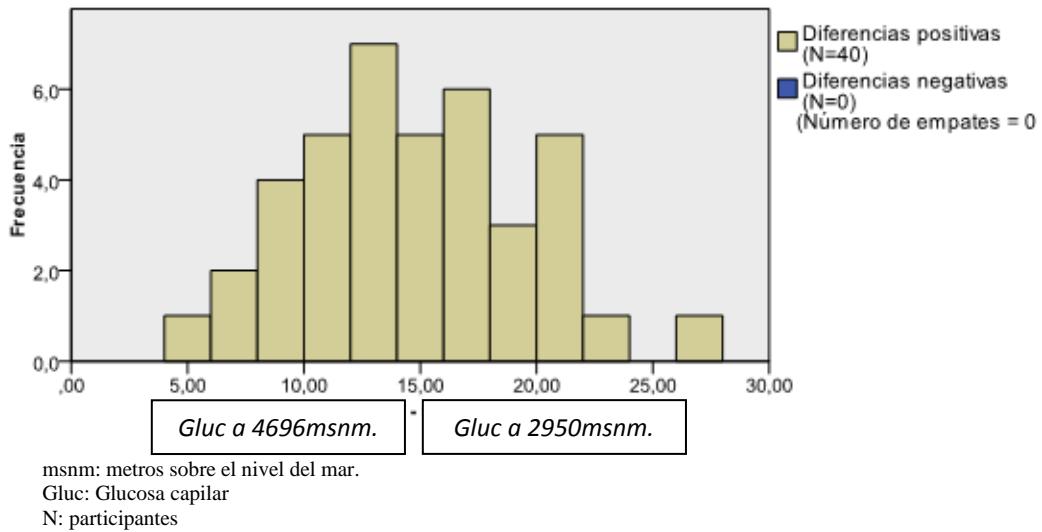
Ilustración 13 Variación de Tensión arterial diastólica en sedentarios.



msnm: metros sobre el nivel del mar.
Tad: Tensión arterial diastólica en reposo
N: participantes

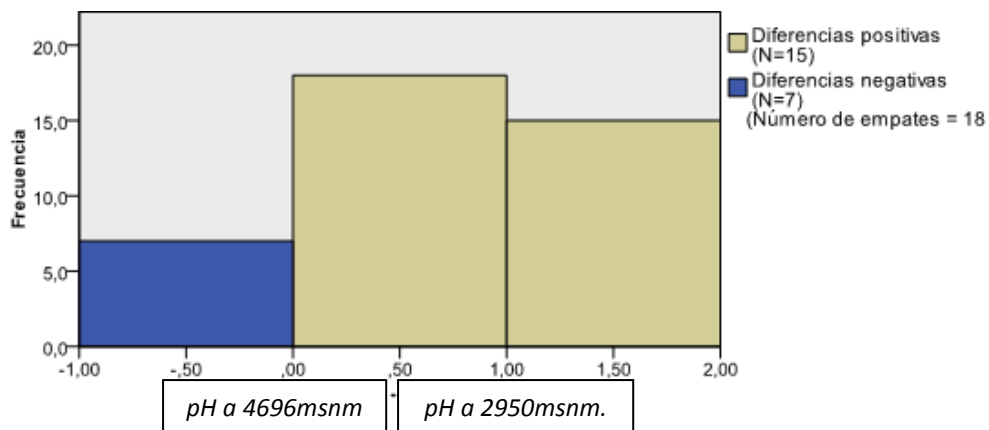
Esta ilustración nos indica que al ganar 1746 metros de altitud, hubo un aumento de la presión arterial diastólica en todos los participantes sedentarios, con una mayor frecuencia de 8 para un aumento de 18 mmHg. Los resultados son estadísticamente significativos, con una $p < 0.05$.

Ilustración 14 Variación de Glucosa capilar en sedentarios.



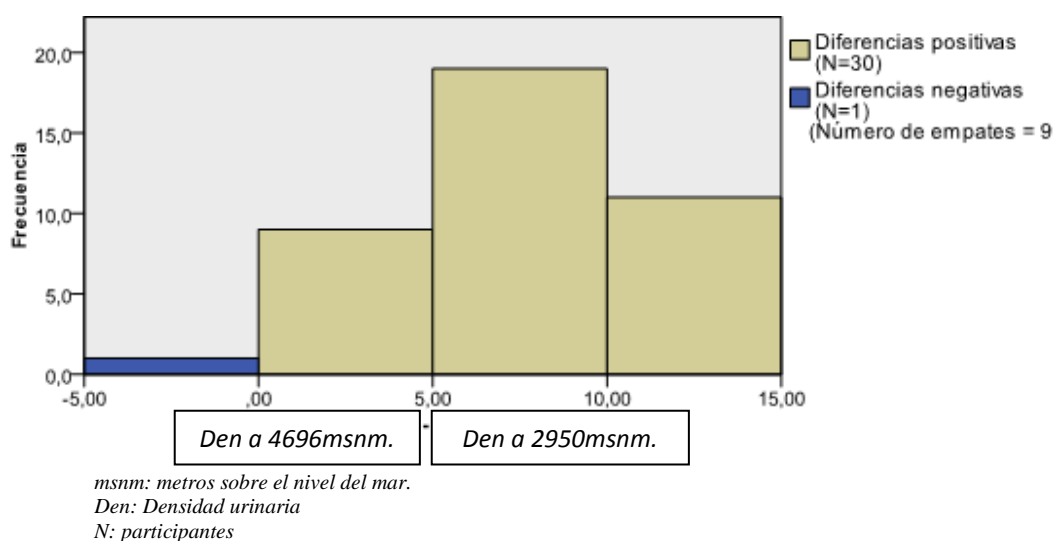
Con respecto a la variación de la glucosa capilar en sedentarios, la ilustración nos muestra que la mayor frecuencia observada fue de 7, con un aumento de 14 mg/dl. Los resultados son estadísticamente significativos con una $p < 0.05$. Se concluye que al ascender desde los 2950msnm hasta los 4696msnm, hay un aumento en la glucosa capilar en no entrenados que no se debe al azar.

Ilustración 15 Variación de pH urinario en sedentarios.



En la variable pH urinario en el grupo de no entrenados, la mayor frecuencia fue de 18 con un aumento de 1 valor al ascender, hubo disminución de un valor con una frecuencia de 7, y no se registraron cambios en una frecuencia de 18. Con respecto a esta variable, se encontró una $p > 0.05$ y los resultados fueron no estadísticamente significativos.

Ilustración 16 Variación de Densidad urinaria en sedentarios.



El gráfico correspondiente a la interpretación de la densidad urinaria en no entrenados confirma una significancia estadística con $p > 0.05$. La mayor frecuencia fue de 19 con un aumento en 0.010 en la densidad urinaria, no obstante se registraron 9 casos sin cambios y con una frecuencia de 1 hubo disminución de 0.005 con respecto a su valor inicial. Sin embargo se obtuvo una $p > 0.05$ estadísticamente significativa.

TABLA 2.

Análisis estadístico de las variables consideradas para muestras relacionadas, grupo sedentarios.

Variable	N (grupo sedentarios)	Error estándar	Significación asintótica (valor <i>p</i>)
Sat en reposo	40	73,944	0,000
Fc en reposo	40	74,352	0,000
Fr en reposo	40	74,137	0,000
Tas en reposo	40	74,364	0,000
Tad en reposo	40	74,351	0,000
Glu	40	74,322	0,000
Den	40	26,970	0,088
pH	40	49,094	0,000

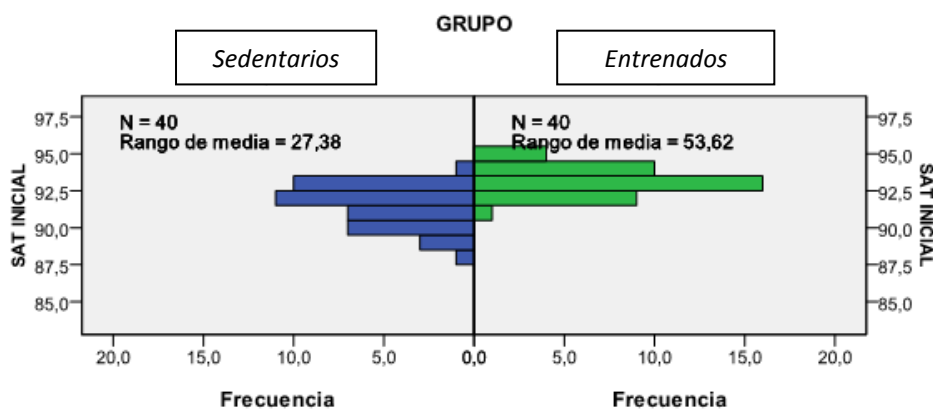
N integrantes del grupo controles

Números sombreados Valores estadísticamente significativos ($p < 0,005$)

Sat: saturación de oxígeno. Fc: frecuencia cardiaca. Fr: frecuencia respiratoria. Tas: tensión arterial sistólica. Tad: Tensión arterial diastólica. Glu: glucosa capilar. Den: densidad urinaria. pH: pH urinario.

Pasaremos ahora a la comparación de las variables entre ambos grupos.

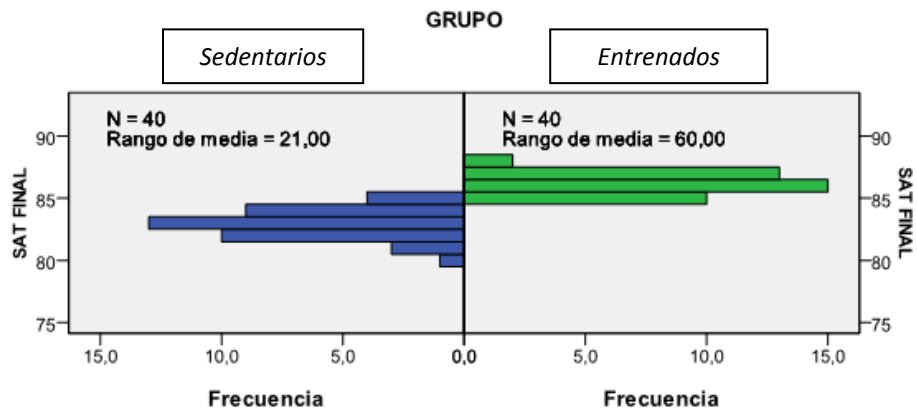
Ilustración 17 Comparación Saturación entre ambos grupos a 2950msnm.



*msnm: metros sobre el nivel del mar.
Sat: Saturación de oxígeno en reposo
N: participantes*

En la gráfica comparativa entre la variación de la saturación de oxígeno a 2950msnm en ambos grupos, se observa que el grupo de entrenados presenta mayor saturación que el control, con una $p < 0.005$ con resultados estadísticamente significativos.

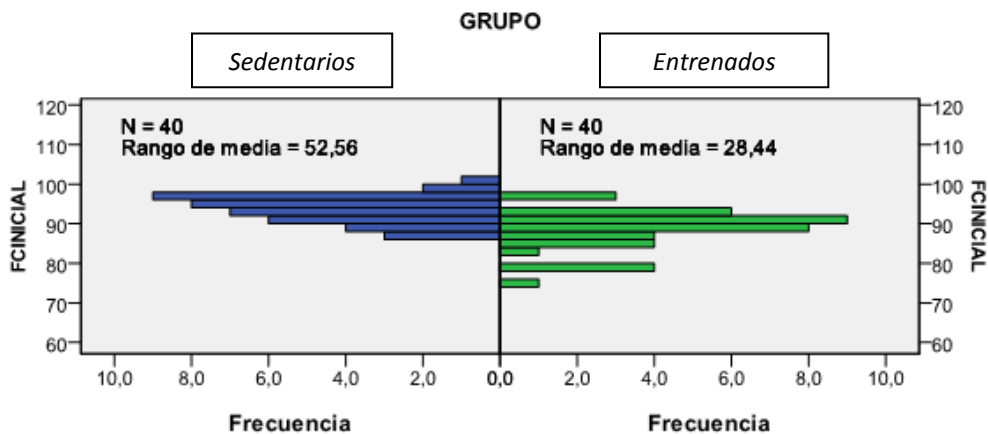
Ilustración 18 Comparación Saturación entre ambos grupos a 4696msnm.



*msnm: metros sobre el nivel del mar.
Sat: Saturación de oxígeno en reposo
N: participantes*

En la gráfica comparativa entre la variación de la saturación de oxígeno a 4696msnm en ambos grupos, se observa que el grupo de entrenados presenta mayor saturación que el grupo de sedentarios, con una $p < 0.005$ con resultados estadísticamente significativos.

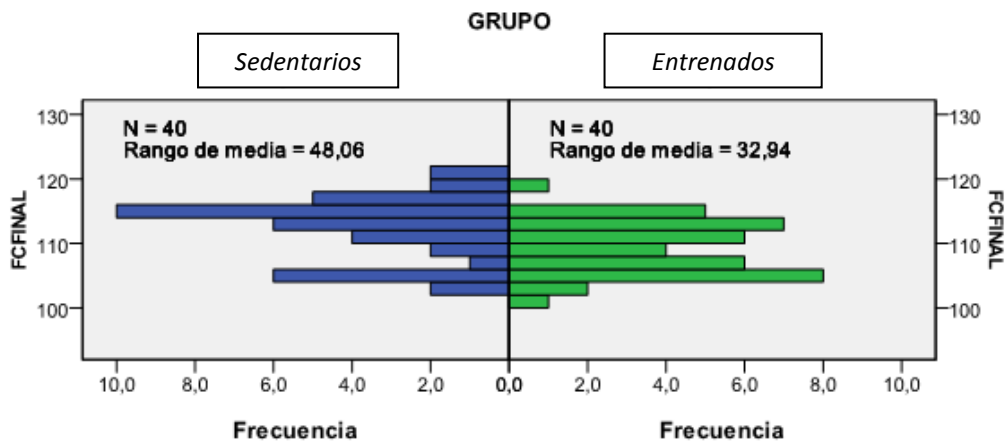
Ilustración 19 Comparación de Frecuencia cardiaca entre ambos grupos a 2950msnm.



*msnm: metros sobre el nivel del mar.
Fc: Frecuencia cardiaca en reposo
N: participantes*

Al valorar la frecuencia cardiaca en reposo entre ambos grupos a 2950msnm, se puede apreciar que el grupo de sedentarios presenta mayores valores iniciales que los entrenados, con una $p < 0.005$ y los resultados no se deben al azar.

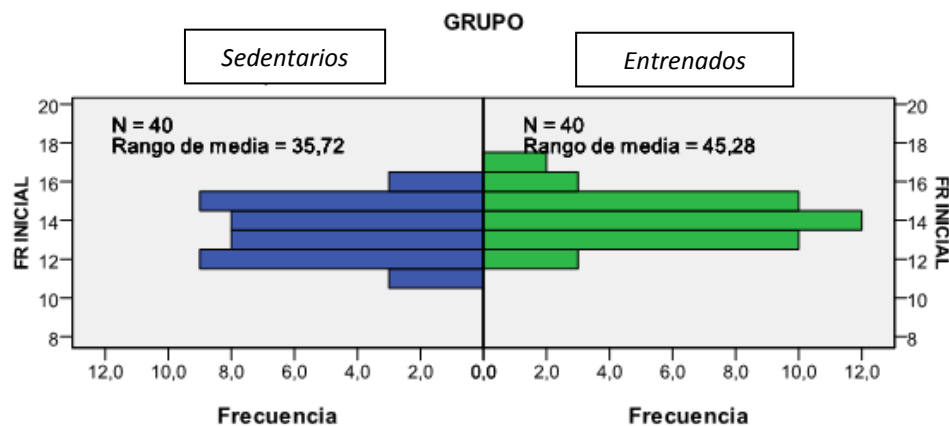
Ilustración 20 Comparación de Frecuencia cardiaca entre ambos grupos a 4696msnm.



*msnm: metros sobre el nivel del mar.
Fc: Frecuencia cardiaca en reposo
N: participantes*

En el caso de la frecuencia cardiaca en reposo a 4696msnm, el grupo de sedentarios presenta mayores cifras que el grupo de entrenados, con una $p < 0.005$ estadísticamente significativa.

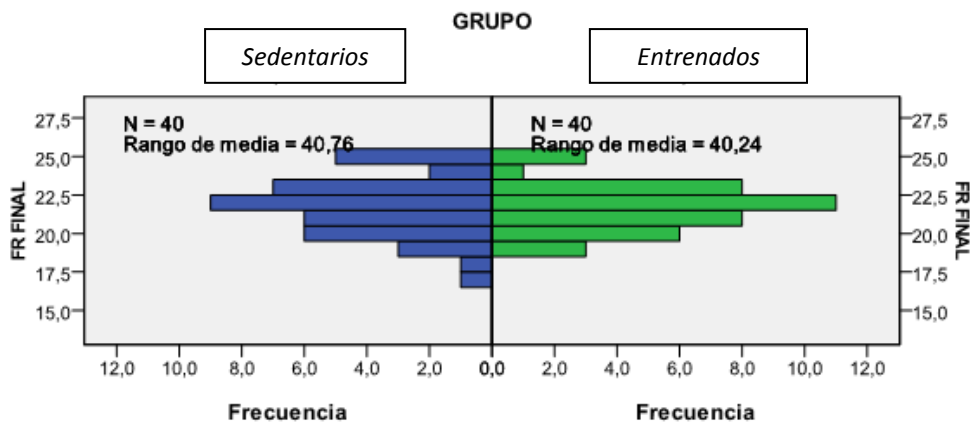
Ilustración 21 Comparación de Frecuencia respiratoria entre ambos grupos a 2950msnm.



*msnm: metros sobre el nivel del mar.
Fr: Frecuencia respiratoria en reposo
N: participantes*

En la ilustración en cuestión, observamos que en la comparación de la frecuencia respiratoria en reposo a 2950msnm entre el grupo de entrenados y de sedentarios, no existen diferencias estadísticamente significativas. Se encuentra una $p > 0.005$.

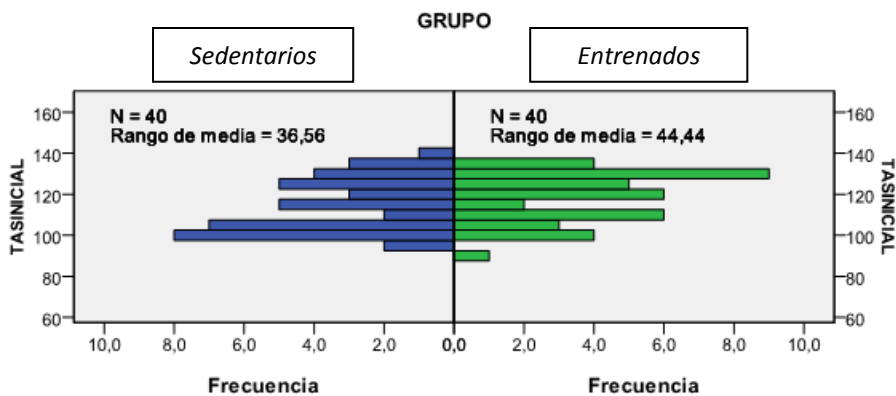
Ilustración 22 Comparación de Frecuencia respiratoria entre ambos grupos a 4696msnm.



*msnm: metros sobre el nivel del mar.
Fr: Frecuencia respiratoria en reposo
N: participantes*

En la comparación de la frecuencia respiratoria en reposo a 4696msnm entre el grupo de entrenados y el de sedentarios se encontró una $p > 0.005$. Los resultados en esta variable son no estadísticamente significativos.

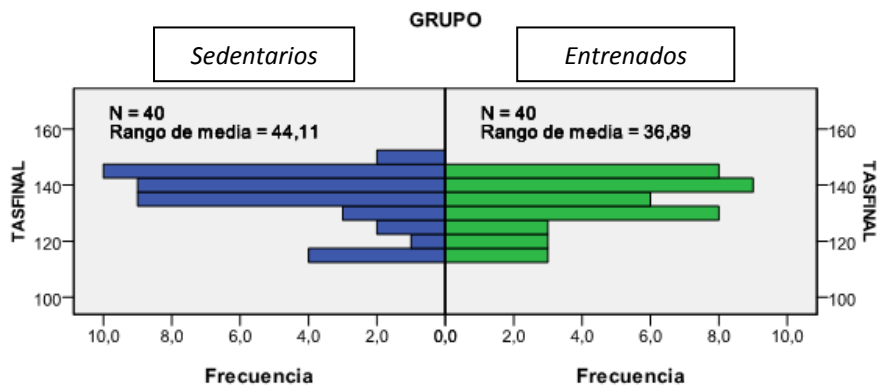
Ilustración 23 Comparación de Tensión arterial sistólica entre ambos grupos a 2950msnm.



*msnm: metros sobre el nivel del mar.
Tas: Tensión arterial sistólica en reposo
N: participantes*

En la variable tensión arterial sistólica a 2950msnm entre ambos grupos, se encontró que, si bien el grupo sedentarios presenta cifras mayores, hay una $p > 0.005$ no estadísticamente significativa.

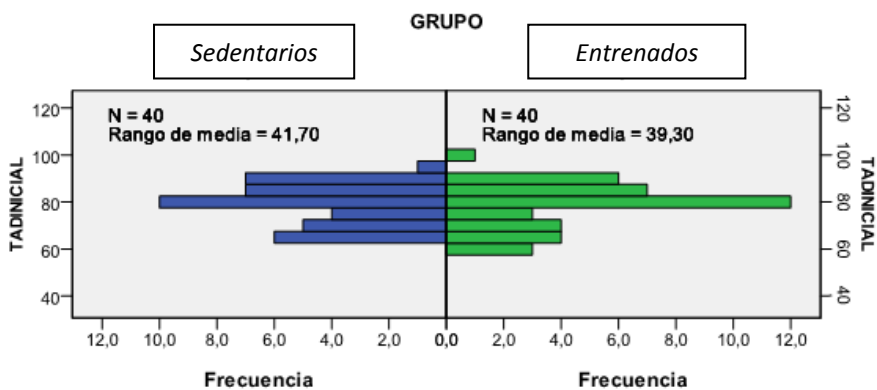
Ilustración 24 Comparación de Tensión arterial sistólica entre ambos grupos a 4696msnm.



*msnm: metros sobre el nivel del mar.
 Tas: Tensión arterial sistólica en reposo
 N: participantes*

En la variable tensión arterial sistólica a 4696msnm entre ambos grupos, se encontró que, si bien el grupo sedentarios presenta cifras mayores, hay una $p > 0.005$ no estadísticamente significativa.

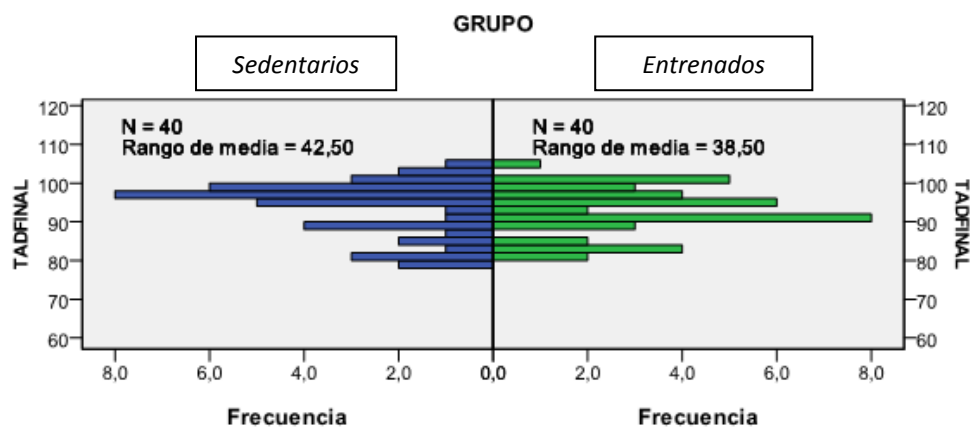
Ilustración 25 Comparación de Tensión arterial diastólica entre ambos grupos a 2950msnm.



*msnm: metros sobre el nivel del mar.
 Tad: Tensión arterial diastólica en reposo
 N: participantes*

La ilustración arriba indica que para la variable tensión arterial diastólica en reposo a 2950msnm, hay una $p > 0.005$ no estadísticamente significativa.

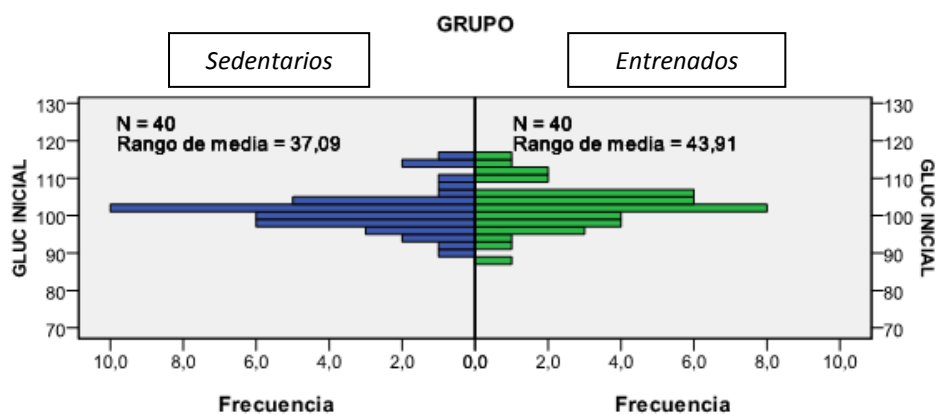
Ilustración 26 Comparación de Tensión arterial diastólica entre ambos grupos a 4696msnm.



msnm: metros sobre el nivel del mar.
Tad: Tensión arterial diastólica en reposo
N: participantes

El análisis de la ilustración indica que para la variable tensión arterial diastólica en reposo a 2950msnm, entre los grupos de entrenados y de sedentarios, se encontró $p > 0.005$, las diferencias son no estadísticamente significativas.

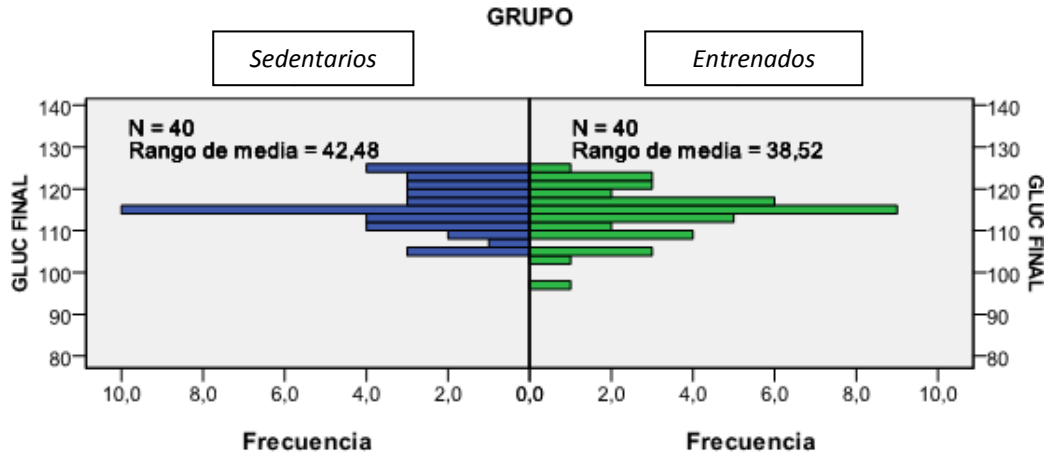
Ilustración 27 Comparación de Glucosa capilar entre ambos grupos a 2950msnm.



msnm: metros sobre el nivel del mar.
Gluc: Glucosa capilar
N: participantes

La variable glucosa capilar a 2950msnm entre ambos grupos presenta resultados no estadísticamente significativos con una $p > 0.005$.

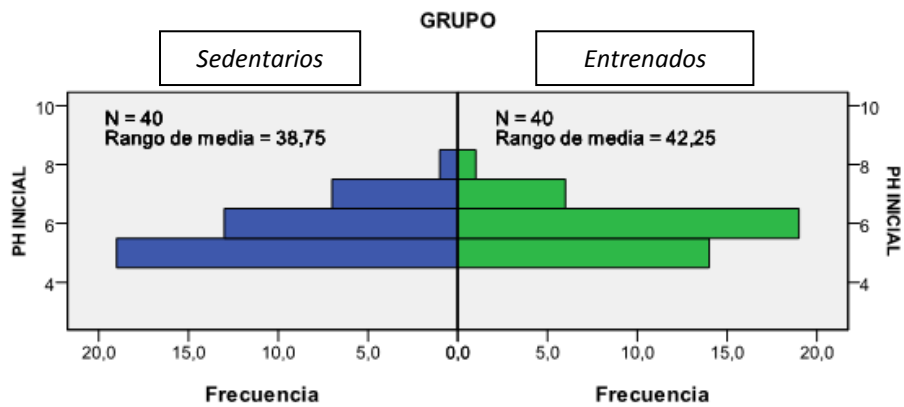
Ilustración 28 Comparación de Glucosa capilar entre ambos grupos a 4696msnm.



*msnm: metros sobre el nivel del mar.
 Gluc: Glucosa capilar
 N: participantes*

La variable glucosas capilar a 4696msnm entre ambos grupos presenta resultados no estadísticamente significativos con una $p > 0.005$.

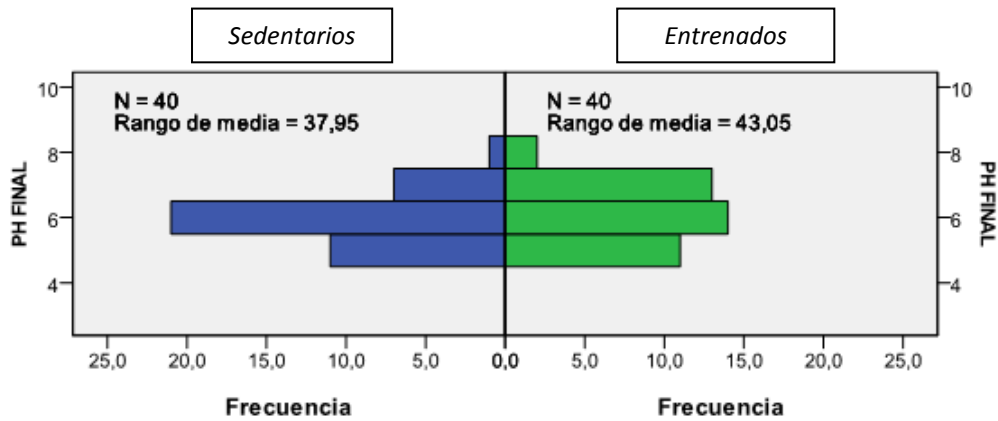
Ilustración 29 Comparación de pH urinario entre ambos grupos a 2950msnm.



*msnm: metros sobre el nivel del mar.
 pH: pH urinario
 N: participantes*

Las diferencias en el pH urinario a 2950msnm entre entrenados y sedentarios no tienen significancia estadística; hay una $p > 0.005$.

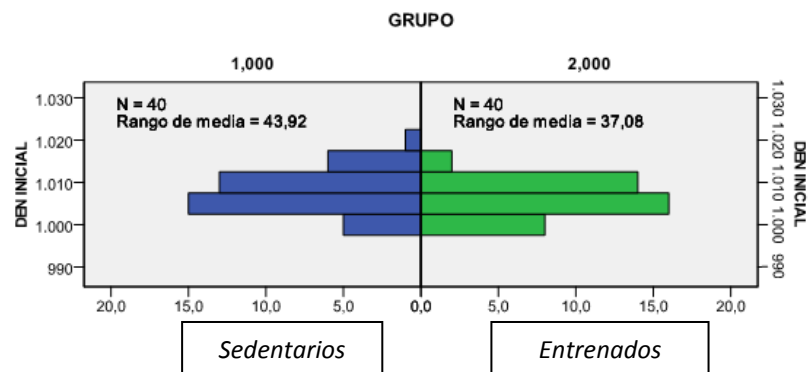
Ilustración 30 Comparación de pH urinario entre ambos grupos a 4696msnm.



*msnm: metros sobre el nivel del mar.
pH: pH urinario
N: participantes*

Las diferencias en el pH urinario a 2950msnm entre entrenados y no entrenados no tienen significancia estadística; hay una $p > 0.005$.

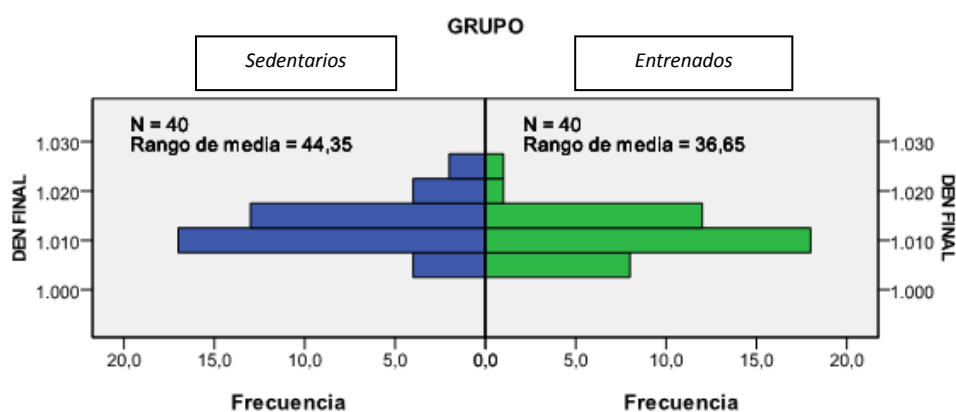
Ilustración 31 Comparación de Densidad urinaria entre ambos grupos a 2950msnm.



*msnm: metros sobre el nivel del mar.
Den: Densidad urinaria
N: participantes*

En el grupo de sedentarios se registran mayores cifras de densidad urinaria a 2950msnm en comparación con el grupo entrenados; no obstante se encuentra una $p > 0.005$. Las diferencias no son estadísticamente significativas.

Ilustración 9 Comparación de Densidad urinaria entre ambos grupos a 4696msnm.



msnm: metros sobre el nivel del mar.

Den: Densidad urinaria

N: participantes

En la comparación entre ambos grupos de la densidad urinaria a 4696msnm se encuentra una $p > 0.005$. Los resultados son no estadísticamente significativos.

TABLA 3.

Análisis estadístico de las variables consideradas para muestras independientes (comparación entre ambos grupos)

Variable	N Total	U de Mann Whitney	Error estándar	Significación asintótica (valor p)
Sat 2950msnm	80	1.325,000	101,065	0,000
Sat 4696msnm	80	1.580,000	102,677	0,000
Fc 2950msnm	80	317,500	103,558	0,000
Fc 4696msnm	80	497,500	103,599	0,004
Fr 2950msnm	80	991,000	101,604	0,060
Fr 4696msnm	80	789,500	102,232	0,918
Tas 2950msnm	80	957,500	103,876	0,129
Tas 4696msnm	80	655,500	103,789	0,164
Tad 2950msnm	80	752,000	103,805	0,644
Tad 4696msnm	80	720,000	103,751	0,441
Glu 2950msnm	80	936,500	103,630	0,188
Glu 4696msnm	80	721,000	103,653	0,446
Den 2950msnm	80	663,000	98,492	0,164
Den 4696msnm	80	646,000	97,611	0,115
pH 2950msnm	80	870,000	96,466	0,468
pH 4696msnm	80	9.2,000	97,484	0,295

Números sombreados Valores estadísticamente significativos ($p < 0,005$)

Sat: saturación de oxígeno. Fc: frecuencia cardíaca. Fr: frecuencia respiratoria. Tas: tensión arterial sistólica. Tad. Tensión arterial diastólica. Glu: glucosa capilar. Den: densidad urinaria. pH: pH urinario. Msnm: metros sobre el nivel del mar.

CAPITULO V. DISCUSION DE RESULTADOS

8. DISCUSIÓN:

La cantidad de oxígeno transportado por la sangre depende fundamentalmente de la presión de oxígeno del aire inspirado. (Cardenas, 2014).

En nuestro estudio, al comparar ambos grupos se observan diferencias estadísticamente significativas en dos variables: saturación de oxígeno y frecuencia cardíaca en reposo.

En las altas cotas, hay una disminución progresiva de la presión atmosférica y por lo tanto de todos los gases que la componen incluido el oxígeno. Esto conlleva a una disminución de la presión parcial de oxígeno del aire inspirado en la altura, con caída también de la saturación y de la presión arterial de oxígeno consecuentemente. De acuerdo con lo planteado, en nuestros resultados podemos observar que tanto en el grupo de entrenados como de sedentarios la caída de la saturación fue generalizada. El descenso de la saturación a 4696msnm fue similar en ambos grupos (8% en entrenados; 9% en sedentarios); pero considerando que a 2950msnm el grupo entrenado presentó una media de saturación superior, esta fue superior en la segunda medición también. Este fenómeno puede ser explicado por una mayor masa eritrocitaria en este grupo debido a los efectos del entrenamiento programado y a un posible estrés hipóxico intermitente acumulado gracias a realizar maniobras de entrenamiento en altura periódicos, condicionando a este grupo un estado de aclimatación adicional, fenómeno conocido como memoria de aclimatación. . Otra explicación radica en el hecho del

aumento del volumen ventilatorio en los entrenados, con mayor difusión de oxígeno hacia la sangre en cada ciclo respiratorio. (Ratamess, 2015)

En el estudio publicado por Javier Botella y Luis Compte acerca de la saturación arterial de oxígeno a gran altitud por exposición aguda, se observa una disminución progresiva de la saturación a medida que se gana altitud, hasta los 4164 msnm cuando se llegó a un promedio de 82%. (Botella, 2010).

En un estudio comparativo sobre la caída del Vo_2 máx. entre un grupo de entrenados y otro de sedentarios al ascender a una altura moderada realizado en la Universidad de Chile (Miranda, 2004), la condición aeróbica del grupo entrenado fue superior a la de los no entrenados al inicio del estudio. Se registró una Vo_2 máx promedio de 48.5 ml/kg/min en el grupo entrenado, mientras que en los sedentarios fue de 42 ml/kg/min. Además, por contener mayor masa eritrocitaria y mayor volumen sanguíneo, se facilita también por este mecanismo la captación alveolar y transporte de oxígeno, aumentando la saturación en este grupo. Cada gramo de hemoglobina adicional es capaz de transportar 1.34 ml de oxígeno extra.

Las principales adaptaciones cardiovasculares que ocurren con el entrenamiento son un aumento del gasto cardiaco, que no depende principalmente del aumento en la frecuencia cardíaca sino del aumento del volumen sistólico, el cual suele ser del orden de 14-16 l/min en sedentarios, de 20-25 l/min en sujetos entrenados y de más de 40 l/min en atletas de resistencia con alto nivel de entrenamiento. (López y Cols) en (Miranda, 2004). Esto explica los cambios en la variable frecuencia cardíaca al comparar los dos grupos. En los entrenados existe un mayor volumen sistólico debido a los efectos del entrenamiento, por lo que el gasto cardiaco es más efectivo incluso a frecuencias cardíacas menores.

Estas diferencias fisiológicas explican tres causas de un mayor Vo_2 máx y concentraciones de oxihemoglobina en el grupo sometido a entrenamiento; mayor difusión de oxígeno por mayor capacidad respiratoria y volumen respiratorio, mayor captación a nivel de la circulación capilar pulmonar por mayor nivel de hematocrito, y mayor transporte por aumento en la circulación por un volumen sistólico más efectivo de acuerdo a la evidencia. (Cardenas, 2014).

Existe otra situación que merece ser considerada en este caso, es acerca de la curva de disociación de la hemoglobina frente a algunos factores. Las situaciones que desplazan la curva hacia la izquierda son el aumento de la temperatura, aumento del 2,3 DPG y el aumento del pH sanguíneo, los trastornos opuestos la desplazan hacia la derecha. Con la RHV se elimina mayor cantidad de CO_2 aumentando así el pH lo cual contrarrestaría en cierta parte la disminución de la presión parcial de oxígeno. (Miranda, 2004)

Los resultados acerca de la frecuencia respiratoria también son claros. Ambos grupos presentaron un aumento de la misma a 4696msnm, aunque no se encontraron diferencias estadísticamente significativas al comparar entrenados con sedentarios. La RHV de la altura consiste en el aumento inmediato de la frecuencia respiratoria al ganar altitud, por el mismo mecanismo fisiológico del aumento de la frecuencia cardíaca, o sea la hipoxia, estableciéndose las primeras respuestas fisiológicas para contrarrestar la hipoxemia. Con esto, se incrementa la eliminación pulmonar de CO_2 causando hipocapnia y un desplazamiento de la disociación del ácido carbónico hacia la formación de CO_2 y H_2O los cuales son eliminados por la respiración; el pH sanguíneo aumenta lo cual causa un desplazamiento de la curva de disociación de la hemoglobina hacia la izquierda en contraposición al conocido efecto Bohr, como se menciona en el marco teórico. (Borge, 2011)

Está demostrado (Hinojosa Campero, 2011) que los expuestos a la hipoxia hipobárica presentan índices gasométricos compatibles con alcalosis respiratoria descompensada con un aumento del pH sanguíneo. Esto nos llevó a considerar el análisis del pH urinario en nuestros participantes ya que uno de los mecanismos de compensación sería la eliminación renal de bicarbonato. Como podemos apreciar en nuestros resultados, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el análisis de esta variable, tanto intra como intergrupo. La explicación es la siguiente. Si inicialmente nuestros participantes tienen un equilibrio en el metabolismo ácido base y al ascender presentan alcalosis respiratoria por hiperventilación y exceso de eliminación de CO₂, el primer mecanismo de regulación son los buffers extracelulares, posteriormente los buffers intracelulares, y el mecanismo de regulación renal es el más tardío en actuar, a pesar de ser muy efectivo. Modificado de (Gonzales Mañas, 2016). La compensación renal, consiste en una disminución en la secreción de H⁺ y en una disminución en la reabsorción del HCO₃⁻ plasmático. Esta compensación no es inmediata (tarda entre dos y tres días), pero es bastante eficaz, ya que la disminución del HCO₃⁻ restablece los valores normales de pH. (Gonzales Mañas, 2016)

En las variables tensión arterial sistólica y tensión arterial diastólica, se encontró aumento estadísticamente significativo general en todo el universo, lo que apoya la evidencia actual. (Botella de Maglia, 2002). No obstante al comparar ambos grupos no se encontró diferencias estadísticamente significativas. Este hecho radica en que, si bien en los entrenados el volumen sistólico es mayor, existe un más amplio lecho vascular debido a un efecto del entrenamiento que es la angiogénesis. (Ratamess, 2015) Esto contrarrestaría un posible aumento de la tensión arterial debido al aumento de la capacidad contráctil ventricular en este grupo.

La densidad urinaria tuvo una tendencia al aumento en ambos grupos, el cual fue estadísticamente significativo, en contraposición a los hallazgos reportados en un estudio publicado en pubmed, en el cual se analizan los cambios en la función renal a diferentes altitudes, y se concluye que la osmolaridad urinaria disminuye progresivamente al ganar altitud debido a una disminución de la concentración de ADH en sangre.(Haditsch, 2015). La explicación a esta diferencia de resultados estaría relacionada a la ingesta de líquidos que en el estudio citado fue abundante, y en nuestros participantes fue a libre demanda. Si consideramos que hubo un aumento estadísticamente significativo en la ventilación pulmonar en todos los participantes, acompañado por cefalea en gran número de ellos, una explicación para esta variable sería la presencia de cierto grado de deshidratación que conllevaría una mayor densidad urinaria. Es importante considerar además que durante nuestro estudio, hubo la presencia de abundante radiación solar por la época del año en la que nos encontramos, a diferencia de otros países a diferentes latitudes donde las condiciones climáticas no condicionan una pérdida de líquidos muy marcada por los mecanismos de radiación y evaporación principalmente. Al comparar ambos grupos no se encontraron diferencias estadísticamente significativas.

Las concentraciones de glucosa capilar fueron mayores a 4696msnm en la mayoría de los participantes de ambos grupos, en comparación a los niveles iniciales a 2950msnm, con diferencias estadísticamente significativas. Estos hallazgos son compatibles con un estudio realizado en hipoxia simulada que comparo los niveles de glucosa y hormonas de la glucorregulación a nivel del mar, a 3500msnm y a 5080msnm, en los cuales los niveles de glucosa permanecieron altos durante tres a siete días de exposición. (Sawhney, 2005) En cambio al comparar ambos grupos, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas.

Aspectos administrativos

Aspectos bioéticos:

Antes de comenzar la investigación se solicitó autorización a la administración del Teleférico. (Anexo 1)

Se obtendrá el consentimiento previo de cada participante para su participación en la investigación, el cual será firmado por la persona y se garantizará la confidencialidad de la información aportada (Anexo 2).

Será un requisito indispensable la aprobación por el comité de ética de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

CONCLUSIONES:

- 1.- La hipoxia hipobárica determinada por el ascenso de 1746 metros, desde el teleférico de Quito a 2950msnm hasta la cima del volcán Rucu Pichincha 4696msnm, causa un aumento en todos los parámetros fisiológicos en entrenados y sedentarios residentes en Quito, a excepción de la densidad urinaria.
- 2.- El entrenamiento físico programado condiciona una mayor saturación de oxígeno en reposo tanto y menos frecuencia cardíaca tanto antes como después de ascender hasta la cima del volcán a 4696msnm.
- 3.- La latitud juega un papel importante tanto en los paisajes de las montañas como en el impacto que causan las condiciones climáticas en la variación de la densidad urinaria.

RECOMENDACIONES:

- 1.- Tomar en cuenta las condiciones climáticas antes de visitar lugares inhóspitos y más aun si esto implica exposiciones a grandes alturas.
- 2.- En el caso de personas que residan a nivel del mar, se recomienda una aclimatación previa al ascenso de cumbres de altitudes importantes.
- 3.- Tener una vida activa para poder afrontar de manera más segura los obstáculos que implican exponerse a grandes alturas con fines recreativos.

REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

1. Tejedor JC. [efdeportes]. (<http://www.efdeportaes.com/efd98/altura.htm>)
2. Vidactiva. Deportes, nutrición y salud. [Online].; 2016 [cited 2016 enero 21. Available from: http://www.vidactiva.com.ec/1005-la_altura_parte_de_tu_entrenamiento/
3. EcuadorExplorer.com. [Online].; 2016 [cited 2016 enero 20. Available from: <http://www.ecuadorexplorer.com/es/html/mal-de-altura-y-otras-enfermedades.html>
4. Salud Medicinas. Mal de altura: vivir sin aire. [Online].; 2011 [cited 2016 Enero 24. Available from: <http://www.saludymedicinas.com.mx/centros-de-salud/cardiovascular/articulos/mal-de-altura-vivir-sin-aire.html>
5. Todo vertical. Guías de montañas. (<http://www.todovertical.com/articulo/6/mal-de-altura-sintomas-y-prevencion>)
6. Gamboa R. Exposición aguda a la hipoxia hipobarica: Aspectos fisiologicos y fisiopatológicos. Revista Peruana de Cardiología. 1997 Septiembre- Diciembre; XXIII
7. Efectos de la altitud y como combatirlos. Marca.com [Online]; 2013 [cited 2016 (<http://www.marca.com/blogs/palillerosvssurferos/2013/02/05/efectos-de-la-altitud-y-como-combatirlos.html>.)
8. Bernaola M, Ponce JA. Los riesgos de la altitud y su prevención. Seguridad y salud en el trabajo. 2012 Julio;(68). https://www.fundacionmapfre.org/documentacion/.../i18n/catalogo_imagenes/grupo.cmd?path=1071414

9. Colectivo de autores (16 Apr 2008). «Altitude Illness – Cerebral Syndromes». Medicine Specialties > Emergency Medicine > Environmental. <http://tratado.uninet.edu/c090504.html>
10. Botella J; Mal de altura. Prevención y tratamiento. Primera ed. Madrid: Desnivel ediciones; 2002.
11. Miranda S y Rawlings P. [CONSUMO MAXIMO DE OXIGENO EN RESPUESTA A LA EXPOSICION A UNA ALTURA MODERADA. EFECTO DEL ENTRENAMIENTO PREVIO. 2004
http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2004/miranda_s/sources/miranda_s.pdf
12. Torres, M. (2005). *Enciclopedia de la Educación Física y del Deporte*. Barcelona: Ediciones El Serbal.
13. Jaramillo JAR. [Acta Biológica Colombiana].; 2002 (<http://www.virtual.unal.edu.co/revistas/actabiol/PDF's/V7N2/Art1V7N2.pdf>) y La atmósfera. [cited 2016 Enero 20. Available from: <http://www.madrid.org/cs/Satellite?blobcol=urldata&blobheader=application%2Fpdf&>
14. Pérez B A, Benítez R. [Patologías cardiorrespiratoria en deportistas y su relación con la altura].; 2000 (<http://www.aamoratalaz.com/articulos/PCA05.pdf>)
15. Herrera A. INTERCAMBIO GASEOSO EN LA RESPIRACION. (<http://es.slideshare.net/rohanpianist/trabajo-independiente-de-biofisica-final>.)
16. Alois D, Wagner GR.. El cuerpo humano. Aparato Respiratorio. In Stellman JM, editor. ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO. Madrid: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales; 2001. p. 10.2.
17. Mal de las alturas- La aclimatación lo más importante. (<http://salud.ccm.net/faq/3094-mal-de-altura-la-aclimatacion-lo-mas-importante>)

18. Gonzales GF. Hemoglobina y testosterona: importancia en la aclimatación y adaptación a la altura. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*. 2011 Marzo; 28(1). [Cited 2016 Enero 22. (http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342011000100015)
19. Irrarázaval S. [Medicina de Altura. Adaptación del ser humano a la altura y enfermedades relacionadas. (<http://www.seminariomm.cl/pdf/6.pdf>)
20. Como prepararse para hacer cima en el Everets. *Todo vertical, Guías de montañas.*: (<http://www.todovertical.com/noticia/1486/como-prepararse-para-hacer-cima-en-el-everest-parte-3>)
21. Morras R. Proyecto LLAMA y el MAL (Mal Agudo de montaña) Sabemos enfrentarlo? .IAR, CONICET. . (<http://www.iar.unlp.edu.ar/pdf/ProyectoLLAMA-MAM.pdf>)
22. Mal agudo de montaña (MAM): Concepto y Prevención. *Viajarseguro.org* [Online]; 2015 [cited 2016 Enero 22. Available from: <http://fundacionio.org/viajar/consejos/mountain/mal%20agudo%20de%20montana%20concepto%20y%20prevencion.html>
23. Mal agudo de montaña. *MedlinePlus*. [Online]; 2015 [cited 2016 Enero 22. Available from: <https://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/000133.htm>
24. Cómo prevenir el mal de Alturas. *Wikihaw*. http://www.napaysunqu.com.ar/wp-content/uploads/FISIOLOGIA_DE_LAS_GRANDES_ALTURAS.pdf
26. <http://escuela.med.puc.cl/publ/Aparatorespiratorio/05TransportesGases.html>

27. <http://www.elsevier.es/es-revista-medicina-clinica-2-articulo-saturacion-arterial-oxigeno-gran-altitud--13071480>

28. www.ehu.es/biomoleculas/buffers/regulation.htm

29. Eur J Appl Physiol Occup Physiol. 1991;62(4):286-91.

Glucoregulatory hormones in man at high altitude.

Sawhney RC¹, Malhotra AS, Singh T

30. Volume Regulation and Renal Function at High Altitude across Gender

Bernd Haditsch,¹ Andreas Roessler,¹ Peter Krisper,² Herwig Frisch,³ Helmut G. Hinghofer-Szalkay,¹ and Nandu Goswami^{1,*}

Anexos:

Anexo 1: Certificado de Autorización

Yo, _____ en mi carácter de Administrador del Teleférico de Quito, certifico que he autorizado al Dr. Fernando Ferreira Tapia a que realice su trabajo de investigación, como requisito para la terminación de la especialidad en Medicina del deporte: **“ANALISIS COMPARATIVO DE PARAMETROS FISIOLÓGICOS EN REPOSO AL ASCENDER DESDE EL TELEFÉRICO DE QUITO A UNA ALTITUD DE 2950 MSNM HASTA LA CIMA DEL VOLCAN RUCU PICHINCHA A 4696 MSNM ENTRE BOMBEROS AERONAUTICOS FISICAMENTE ACTIVOS DE ENTRE 25 Y 55 AÑOS DEL AEROPUERTO MARISCAL SUCRE Y HOMBRES SEDENTARIOS RESIDENTES EN QUITO DEL MISMO GRUPO ETAREO EN EL MES DE MAYO DEL 2016. ”.**

Para que así conste se firma el presente consentimiento, a los _____ días del Mes de _____ del año 2016.

Atentamente;

Administrador del Teleférico de Quito

Anexo 2: Consentimiento informado

Quito, Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Facultad de Ciencias Médicas, Especialidad en Medicina del deporte, 2016.

Yo, _____ manifiesto mi disposición para participar en la investigación **“ANÁLISIS COMPARATIVO DE PARÁMETROS FISIOLÓGICOS EN REPOSO AL ASCENDER DESDE EL TELEFÉRICO DE QUITO A UNA ALTITUD DE 2950 MSNM HASTA LA CIMA DEL VOLCAN RUCU PICHINCHA A 4696 MSNM ENTRE BOMBEROS AERONÁUTICOS FÍSICAMENTE ACTIVOS DE ENTRE 25 Y 55 AÑOS DEL AEROPUERTO MARISCAL SUCRE Y HOMBRES SEDENTARIOS RESIDENTES EN QUITO DEL MISMO GRUPO ETAREO EN EL MES DE MAYO DEL 2016.**”, bajo compromiso de los autores de no divulgar la información brindada.

El objetivo de este estudio es identificar cuáles son los cambios agudos de los parámetros fisiológicos que provoca la hipoxia inducida por exposición a grandes alturas, así como comparar dichos cambios en dos poblaciones que se distinguen entre sí por la práctica regular de ejercicio físico.

Declaro se me ha informado ampliamente que se respetará en el sentido más estricto de la palabra, mi privacidad, estableciendo así un clima de confianza, con el fin de que el investigador se convierta en un receptor válido para describir lo sucedido. Como resultado de mi participación en esta investigación, el beneficio que obtendré, será ampliar los conocimientos para la profesión con la finalidad de enriquecerlos para beneficiar a otros.

Firma _____ CC _____ Fecha _____