



### Cláusula de cesión de derecho de publicación de monografía

Yo EDWIN LOPEZ CHAVEZ

autor/a de la monografía titulada:

**IMPACTO SOBRE LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE TELEMEDICINA EN LA DETECCIÓN Y MANEJO DE ALTERACIONES ELECTROCARDIOGRÁFICAS EN JÓVENES CONSCRIPTOS QUE PRESTAN SERVICIO MILITAR CUARTEL MAX TOLEDO EN EL MUNICIPIO DE VIACHA A 3876 MSNM**

mediante el presente documento, declaro que la obra mencionada es de mi exclusiva autoría y producción. Esta monografía ha sido elaborada como uno de los requisitos previos para la obtención del diplomado en: "Salud y Telemedicina" en la Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Central Sucre.

#### Cesión de Derechos:

- Derechos Cedidos:** A partir de la fecha, cedo a la Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Central Sucre, los derechos exclusivos de reproducción, comunicación pública, distribución y divulgación de la obra. La Universidad está autorizada a utilizar esta obra por cualquier medio, actualmente conocido o que se desarrolle en el futuro, siempre y cuando dicha utilización no se realice con fines de lucro. Esta cesión incluye la reproducción total o parcial en formatos virtual, electrónico, digital, u óptico, así como su uso en red local e Internet.
- Responsabilidades del Autor:** Declaro que, en caso de presentarse cualquier reclamación o demanda por parte de terceros respecto de los derechos de autor de la obra mencionada, asumiré toda la responsabilidad legal frente a dichos terceros y frente a la Universidad, incluyendo, sin limitación, la defensa de tales reclamaciones y el mantenimiento de la Universidad indemne frente a las mismas.
- Entrega de Ejemplares:** En esta fecha, entrego a la biblioteca de la Universidad un ejemplar de la obra y sus anexos, en formatos impreso y digital o electrónico.

Fecha 28-03-2025

Firma: 



**UNIVERSIDAD ANDINA SIMÓN BOLÍVAR**  
**SEDE CENTRAL**  
**Sucre – Bolivia**

**PROGRAMA DE DIPLOMADO EN:**  
**“SALUD Y TELEMEDICINA” – Versión I**

**IMPACTO SOBRE LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE  
TELEMEDICINA EN LA DETECCIÓN Y MANEJO DE  
ALTERACIONES ELECTROCARDIOGRÁFICAS EN JÓVENES  
CONSCRIPTOS QUE PRESTAN SERVICIO MILITAR CUARTEL  
MAX TOLEDO EN EL MUNICIPIO DE VIACHA A 3876 MSNM**

**Monografía presentada para optar al  
Diplomado en “Salud y Telemedicina”**

**ESTUDIANTE: EDWIN LOPEZ CHAVEZ**

**La Paz – Bolivia**

**2024**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>RESUMEN.....</b>	<b>iv</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>v</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Antecedentes del tema de investigación .....	1
1.1.1 El Problema.....	1
1.1.2 Justificación y Uso de los resultados .....	4
1.2 Objetivos .....	5
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO Y CONTEXTUAL .....</b>	<b>7</b>
2.1 Marco teórico .....	7
2.1.1 Fundamentos del Electrocardiograma (ECG) .....	7
2.2 Fisiología Cardíaca y Adaptación a la Altura .....	8
2.2.1 Efectos de la altura en el sistema cardiovascular.....	8
2.2.2 Funcionamiento del sistema cardiovascular en condiciones normales.....	9
2.2.3 Efectos fisiológicos de la altitud en el cuerpo humano.....	11
2.2.4 Adaptaciones cardíacas a la hipoxia de altura.....	13
2.2.5 Incidencia de alteraciones electrocardiográficas en altura.....	14
2.3 Jóvenes en Servicio Militar y Salud Cardiovascular.....	15
2.4 Telemedicina y Telesalud en la Detección de enfermedades Cardíacas.....	16
2.5 Beneficios de la telesalud en el monitoreo de la salud cardiovascular por EKG	17
2.6 Tamizaje de Alteraciones Electrocardiográficas.....	19
2.7 Hipótesis.....	20
2.8 Marco Contextual.....	21
2.9 Municipio de Viacha y el Cuartel Max Toledo.....	21

2.10	Altitud y sus Efectos en la Salud Cardiovascular .....	22
<b>CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO.....</b>		<b>24</b>
3.1	Enfoque y diseño de investigación.....	24
3.1.1	Enfoque de la Investigación.....	24
3.1.2	Diseño de la Investigación .....	24
3.2	Población y Muestra.....	24
3.2.1	Población.....	24
3.2.2	Muestra.....	25
3.3	Variables de Estudio .....	25
3.3.1	Identificación de Variables .....	25
3.3.2	Diagrama de variables.....	27
3.4	Criterios de inclusión y exclusión.....	29
3.4.1	Criterios de inclusión .....	29
3.4.2	Criterios de exclusión.....	29
3.5	Procedimientos para la Recolección de la Información.....	29
3.5.1	Fuente de recolección de la información .....	29
3.5.2	Instrumentos de recojo de información.....	30
3.5.3	Procedimientos y técnicas .....	30
3.6	Plan de Procesamiento y análisis de los datos .....	30
3.7	Delimitaciones de la Investigación .....	31
3.7.1	Delimitación geográfica.....	31
3.7.2	Sujetos.....	31
3.7.3	Delimitación Temporal .....	31
<b>CONCLUSIONES.....</b>		<b>39</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>		<b>40</b>

<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>41</b>
<b>CRONOGRAMA .....</b>	<b>45</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>46</b>

## RESUMEN

**Antecedentes:** La implementación de sistemas de telemedicina en la detección y manejo de alteraciones electrocardiográficas en jóvenes conscriptos del Cuartel Max Toledo, ubicado en Viacha a 3876 msnm, ha demostrado ser una estrategia eficaz para mejorar la vigilancia cardiovascular en entornos de alta altitud. Dado que la hipoxia puede predisponer a anomalías en el ECG, la telemedicina ha permitido una detección temprana.

**Objetivo:** Aumentar la identificación de casos con alteraciones que requieran seguimiento médico y reducir el tiempo de respuesta para la evaluación cardiológica especializada.

**Resultados:** Se logró un incremento del 40% en la detección de casos que necesitaban seguimiento y una reducción del 50% en el tiempo de respuesta para la evaluación médica. Además de optimizar recursos y mejorar la atención médica en un entorno militar, esta tecnología ha facilitado un diagnóstico oportuno y una mejor gestión del riesgo cardiovascular, consolidándose como una herramienta costo-efectiva y viable para la atención de la salud en poblaciones en servicio militar en zonas remotas.

## **SUMMARY**

**Background:** The implementation of telemedicine systems in the detection and management of electrocardiographic abnormalities in young conscripts at the Max Toledo Barracks, located in Viacha at 3876 m above sea level, has proven to be an effective strategy to improve cardiovascular surveillance in high-altitude environments. Since hypoxia can predispose to ECG abnormalities, telemedicine has allowed early detection.

**Objective:** To increase the identification of cases with alterations that require medical follow-up and reduce the response time for specialized cardiological evaluation.

**Results:** A 40% increase was achieved in the detection of cases that required follow-up and a 50% reduction in the response time for medical evaluation. In addition to optimizing resources and improving medical care in a military environment, this technology has facilitated timely diagnosis and better management of cardiovascular risk, consolidating itself as a cost-effective and viable tool for health care in military service populations in remote areas.

## **CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN**

La elevada altitud provoca alteraciones fisiológicas importantes, en particular en el sistema cardiovascular, a causa de la hipoxia crónica. En los jóvenes que llevan a cabo el servicio militar, las demandas físicas y las condiciones ambientales extremas pueden predisponer a trastornos cardíacos que, si no se identifican oportunamente, podrían derivar en complicaciones graves. La implementación de la Telesalud en la valoración de la salud cardiovascular brinda una solución revolucionaria para zonas alejadas como Viacha, posibilitando la identificación precoz de problemas mediante la televigilancia y el examen remoto de electrocardiogramas. El propósito de esta investigación es examinar las alteraciones electrocardiográficas más comunes en este grupo específico, resaltando la importancia de la Telesalud como instrumento de diagnóstico en escenarios de alta altitud. Este análisis se centra en el tamizaje de cambios electrocardiográficos. Este estudio tiene como objetivo analizar las alteraciones electrocardiográficas más prevalentes en esta población específica, destacando la utilidad de la Telesalud como herramienta diagnóstica en contextos de alta altitud. El presente estudio aborda el tamizaje de alteraciones electrocardiográficas (ECG) en jóvenes del servicio militar en el Cuartel Max Toledo, ubicado en el municipio de Viacha, Bolivia, a una altitud superior a los 3,800 metros sobre el nivel del mar. Dado que la exposición prolongada a la hipoxia de altura puede inducir cambios fisiológicos y patológicos en el sistema cardiovascular, se utilizó la tecnología de Telesalud para realizar un análisis inicial de los ECG de los conscriptos. Este enfoque permitió identificar alteraciones electrocardiográficas relevantes, mejorando el acceso al diagnóstico y fortaleciendo la capacidad preventiva en salud. Los hallazgos destacan la importancia del tamizaje en poblaciones expuestas a condiciones extremas y el papel de la telemedicina como herramienta en contextos remotos.

### **1.1 Antecedentes del tema de investigación**

#### **1.1.1 El Problema**

##### **Identificación**

El servicio militar obligatorio en Bolivia representa una etapa crucial en la vida de muchos jóvenes, quienes se enfrentan a diversos desafíos físicos y psicológicos durante su entrenamiento. La exposición a altitudes elevadas puede provocar alteraciones

electrocardiográficas (ECG) en jóvenes que prestan el servicio militar. Estas alteraciones, si no se detectan y manejan adecuadamente, pueden derivar en problemas cardiovasculares serios. Dado el contexto específico de los jóvenes en servicio militar, que a menudo se enfrentan a condiciones físicas extremas y estrés, la identificación temprana de estas alteraciones es crucial.

### **Magnitud, frecuencia y distribución:**

La prevalencia de alteraciones ECG en altitudes elevadas varía ampliamente según el estudio, pero se estima que afecta a una proporción significativa de la población expuesta. Por ejemplo, un estudio realizado por Villena et al. (2017) encontró que hasta el 30% de los soldados estacionados a altitudes superiores a 2500 metros presentaban algún tipo de anomalía ECG. La frecuencia de estas alteraciones aumenta con la altitud y la duración de la exposición, afectando principalmente a aquellos sin una adecuada aclimatación <sup>1</sup>

La incidencia de alteraciones electrocardiográficas en altura es notablemente alta en jóvenes en servicio militar debido a la combinación de esfuerzo físico extremo y condiciones ambientales adversas. Estudios han mostrado que entre el 15% y el 30% de los soldados en alturas elevadas presentan alguna forma de alteración electrocardiográfica <sup>2,3</sup>

Estas alteraciones pueden variar desde cambios benignos hasta indicadores de patologías graves, distribuyéndose de manera heterogénea dependiendo de la altitud y la adaptación individual a la hipoxia <sup>4</sup>

### **Causas probables del problema:**

Las causas principales de las alteraciones electrocardiográficas en altura incluyen la hipoxia crónica, el esfuerzo físico intenso y la deshidratación. La hipoxia puede inducir hipertrofia ventricular derecha, aumento de la presión arterial pulmonar y alteraciones en la conducción eléctrica del corazón <sup>5</sup>

Además, factores genéticos y la adaptación individual a la altura también juegan un papel crucial <sup>6</sup>

Las causas principales de las alteraciones ECG en la altura incluyen la hipoxia, la reducción de la presión parcial de oxígeno y el incremento del estrés físico y psicológico, la hipoxia inducida por la altitud causa una serie de respuestas fisiológicas que pueden

afectar la función cardíaca, incluyendo un incremento en la presión arterial pulmonar y alteraciones en la repolarización ventricular <sup>7</sup>

### **Soluciones posibles:**

Las posibles soluciones para abordar este problema incluyen la implementación de programas de tamizaje electrocardiográfico regular para jóvenes que prestan servicio militar en zonas de altura. Además, el uso de la telemedicina para monitorear y analizar los ECGs en tiempo real puede mejorar la detección y manejo de estas alteraciones <sup>8</sup>. Además, la implementación de programas de aclimatación gradual y la educación sobre los riesgos asociados con la altitud pueden ayudar a reducir la incidencia de estas alteraciones <sup>9</sup>

### **La telemedicina**

La telemedicina, a través de la monitorización remota y el análisis de datos en tiempo real, puede desempeñar un papel crucial en la gestión de la salud cardiovascular en ambientes de alta altitud <sup>10,11</sup>. La capacidad de realizar consultas y evaluaciones médicas a distancia asegura un seguimiento constante y permite intervenciones rápidas ante cualquier anomalía <sup>12,13</sup>

El uso de dispositivos portátiles para registrar ECGs y su transmisión a especialistas ubicados en centros urbanos puede facilitar la identificación temprana de problemas cardíacos y la implementación de intervenciones oportunas <sup>14</sup>

### **Preguntas sin respuesta:**

Se revisó literatura de detección alteraciones ECG en Bolivia. Pese a los avances, existen varias preguntas sin respuesta en este campo. Por ejemplo, ¿cuáles son los biomarcadores más efectivos para predecir alteraciones electrocardiográficas en altura? ¿Qué papel juegan los factores genéticos en la susceptibilidad a estas alteraciones? ¿Cómo puede la telemedicina integrarse de manera efectiva en el sistema de salud militar para maximizar su eficacia? ¿Cuál es el tiempo óptimo de aclimatación para reducir las alteraciones ECG? ¿Qué factores individuales predisponen más a ciertos conscriptos a desarrollar estas alteraciones? ¿Cómo puede integrarse la telemedicina de manera efectiva en el protocolo de salud militar? <sup>15</sup>,

## **Definición del Problema o Pregunta de Investigación**

¿Qué impacto tiene la implementación de sistemas de telemedicina en la detección y manejo de alteraciones electrocardiográficas en jóvenes conscriptos que prestan servicio militar cuartel Max Toledo en el municipio de Viacha a 3876 msnm?

### **1.1.2 Justificación y Uso de los resultados**

- Oportunidad del Problema. El municipio de Viacha, debido a su elevada altitud, presenta condiciones ambientales que pueden afectar la salud cardiovascular de los jóvenes que prestan el servicio militar en el Cuartel Max Toledo. La altitud disminuye la presión de oxígeno y puede inducir alteraciones electrocardiográficas que, si no se detectan a tiempo, pueden poner en riesgo la vida de estos jóvenes. La implementación de un sistema de telesalud para realizar tamizajes electrocardiográficos es una oportunidad para innovar en la atención médica en áreas remotas, facilitando la detección temprana y el manejo adecuado de posibles alteraciones cardíacas.
- Población que se Beneficia de la Investigación La población beneficiaria directa de esta investigación son los jóvenes que prestan el servicio militar en el Cuartel Max Toledo, quienes podrán acceder a diagnósticos tempranos y tratamiento oportuno de alteraciones cardíacas. Indirectamente, se beneficiarán también las autoridades militares, que tendrán la capacidad de monitorear y cuidar mejor la salud de los reclutas, y las familias de estos jóvenes, que tendrán mayor tranquilidad respecto a la salud de sus hijos. Adicionalmente, los resultados podrán beneficiar a otros cuarteles en regiones similares al proveer un modelo replicable de atención médica a través de telesalud.

**Utilización e Impacto Esperado de los Resultados** Los resultados del estudio tendrán una amplia gama de aplicaciones y un impacto significativo:

**Detección y Diagnóstico Temprano:** La implementación de telesalud permitirá la identificación rápida de alteraciones electrocardiográficas, facilitando intervenciones médicas tempranas.

**Mejora de la Atención Médica:** Los datos recopilados podrán mejorar los protocolos de atención médica en altitud, adaptando las estrategias de cuidado de acuerdo con las necesidades específicas detectadas.

**Capacitación y Entrenamiento:** El personal médico podrá recibir capacitación específica para manejar tecnologías de telesalud y para interpretar resultados electrocardiográficos en condiciones de altura.

**Desarrollo de Políticas de Salud:** Los hallazgos pueden informar la creación de políticas y estrategias de salud pública más efectivas para el cuidado cardiovascular en contextos de altura.

El impacto esperado incluye una mejora en la salud cardiovascular de los jóvenes soldados, una reducción de emergencias médicas derivadas de alteraciones no detectadas y un incremento en la calidad de vida de los reclutas durante su servicio militar.

**Factibilidad y Viabilidad del Estudio.** El estudio es altamente factible y viable por las siguientes razones:

**Accesibilidad a la Tecnología:** La tecnología de telesalud está disponible y es cada vez más accesible, permitiendo su implementación en el Cuartel Max Toledo.

**Capacitación del Personal:** Existe la posibilidad de capacitar al personal médico y técnico para el uso y manejo de equipos de telesalud y para la interpretación de resultados electrocardiográficos.

**Apoyo Institucional:** Se prevé un alto nivel de apoyo por parte de las autoridades militares y sanitarias, interesados en mejorar la atención médica de los reclutas.

**Costo-Beneficio:** La inversión en tecnología de telesalud es justificada por los beneficios a largo plazo de una mejor atención médica, reduciendo costos asociados con emergencias y tratamientos tardíos.

## **1.2 Objetivos**

### **a) General**

Evaluar la prevalencia de alteraciones electrocardiográficas en jóvenes que realizan el servicio militar en el Cuartel Max Toledo, ubicado en el municipio de Viacha, y determinar si existe una asociación entre estas alteraciones y la exposición a la altura, mediante el uso de telesalud.

**b) Específicos**

- Identificar el tipo y frecuencia de alteraciones electrocardiográficas encontradas en la población estudiada.
- Analizar la relación entre la presencia de alteraciones electrocardiográficas y variables como la edad, tiempo de exposición a la altura, síntomas cardiovasculares y antecedentes familiares de enfermedades cardiovasculares.
- Evaluar la factibilidad y efectividad de la telesalud como herramienta para realizar el tamizaje de alteraciones electrocardiográficas en este contexto.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO Y CONTEXTUAL

### 2.1 Marco teórico

#### 2.1.1 Fundamentos del Electrocardiograma (ECG)

- Conceptos básicos del ECG.

El electrocardiograma (ECG) es una herramienta fundamental en la medicina para evaluar la actividad eléctrica del corazón. Se basa en la detección de los impulsos eléctricos que el corazón genera durante su ciclo cardíaco. Estos impulsos son captados mediante electrodos ubicados en la superficie del cuerpo, lo que permite registrar la actividad eléctrica en un formato de onda. El ECG es crucial para diagnosticar arritmias, isquemias miocárdicas, alteraciones del ritmo y otras condiciones cardíacas.

Componentes del ECG: El ECG está compuesto por ondas, intervalos y segmentos que reflejan diferentes fases del ciclo cardíaco. Los principales componentes son:

- Onda P: Representa la despolarización auricular.
- Complejo QRS: Refleja la despolarización ventricular.
- Onda T: Representa la repolarización ventricular.
- Intervalo PR: Indica el tiempo que tarda el impulso eléctrico en viajar desde las aurículas hasta los ventrículos.
- Segmento ST: Es la fase en que los ventrículos están completamente despolarizados, y su elevación o depresión puede indicar isquemia <sup>16</sup>

Derivaciones del ECG: Las derivaciones son las distintas perspectivas desde las cuales se registra la actividad eléctrica del corazón. Se dividen en:

- Derivaciones estándar de las extremidades (I, II, III).
- Derivaciones aumentadas de las extremidades (aVR, aVL, aVF).
- Derivaciones precordiales (V1-V6) <sup>17</sup>

Interpretación del ECG: La correcta interpretación del ECG permite identificar alteraciones como:

- Arritmias: Desviaciones del ritmo cardíaco normal.

- Isquemia e infarto de miocardio: Cambios en el segmento ST y la onda T.
- Hipertrofias: Aumento del tamaño auricular o ventricular detectado por desviaciones en el complejo QRS <sup>18</sup>

## **2.2 Fisiología Cardíaca y Adaptación a la Altura**

La fisiología cardíaca implica el análisis detallado del funcionamiento del corazón y sus mecanismos de regulación para mantener un adecuado flujo sanguíneo y distribución de oxígeno a los tejidos del cuerpo. El corazón está compuesto por cuatro cámaras (aurículas y ventrículos) y un sistema especializado de conducción eléctrica que coordina la contracción y relajación del miocardio, facilitando el ciclo cardíaco. Este proceso se regula principalmente por el nodo sinoauricular (SA) y el nodo auriculoventricular (AV), que aseguran que el bombeo sea eficiente y sincrónico. La frecuencia cardíaca y el gasto cardíaco son modulados por el sistema nervioso simpático y parasimpático, que responde a demandas del entorno, como el estrés o la actividad física <sup>19</sup>

### **2.2.1 Efectos de la altura en el sistema cardiovascular**

Cuando el cuerpo humano se expone a altitudes elevadas, donde la presión atmosférica es considerablemente menor, disminuye la presión parcial de oxígeno en el aire inspirado. Esto crea un estado de hipoxia hipóxica en el que la saturación de oxígeno en la sangre arterial se reduce. Para compensar este déficit, el organismo activa una serie de respuestas fisiológicas, incluyendo cambios significativos en el sistema cardiovascular:

- Aumento de la frecuencia cardíaca: En altitud, una de las primeras respuestas es la taquicardia, lo que mejora el transporte de oxígeno al aumentar el volumen de sangre que circula por minuto. Sin embargo, este aumento del gasto cardíaco es inicialmente transitorio, ya que el cuerpo busca otras adaptaciones menos demandantes a nivel energético <sup>20</sup>
- Vasoconstricción pulmonar hipóxica: A nivel de los pulmones, la hipoxia genera una vasoconstricción en las arterias pulmonares, lo que eleva la presión arterial pulmonar. Esta respuesta puede ser beneficiosa al redirigir la sangre a las áreas mejor ventiladas de los pulmones, pero a largo plazo, puede contribuir a desarrollar hipertensión pulmonar. Esto representa una sobrecarga para el ventrículo derecho, que debe trabajar más para bombear sangre contra esta mayor resistencia en la circulación pulmonar <sup>21</sup>

- Eritropoyesis y policitemia: La producción de glóbulos rojos (eritrocitos) aumenta a través de la liberación de eritropoyetina (EPO), una hormona producida principalmente en los riñones en respuesta a la hipoxia. Este proceso, conocido como policitemia, mejora la capacidad de transporte de oxígeno en la sangre. Aunque a corto plazo es una adaptación beneficiosa, a largo plazo puede aumentar la viscosidad sanguínea, incrementando el riesgo de complicaciones trombóticas y cardiovasculares <sup>21</sup>

#### *Adaptaciones fisiológicas a largo plazo*

Con el tiempo, el cuerpo optimiza su metabolismo para funcionar con menos oxígeno disponible. A nivel celular, se incrementa la eficiencia en la utilización de oxígeno, lo que incluye una mayor densidad de mitocondrias y la mejora de la capacidad aeróbica de los tejidos. Los atletas y las personas que viven a grandes altitudes desarrollan una mejor tolerancia al ejercicio y una mayor capacidad de trabajo sin comprometer la entrega de oxígeno a los tejidos.

Además, se observa un aumento en la ventilación pulmonar (hiperventilación) sostenida en altitud, lo que facilita la eliminación de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y compensa parcialmente la hipoxia al mejorar la saturación de oxígeno en la sangre arterial <sup>22</sup>

#### *Impacto en el corazón a largo plazo*

Aunque las adaptaciones cardiovasculares a la altitud mejoran la capacidad del cuerpo para operar bajo condiciones de hipoxia, la exposición prolongada a grandes alturas puede tener consecuencias adversas, especialmente en personas susceptibles. En algunos individuos, la hipertensión pulmonar puede progresar a insuficiencia cardíaca derecha, una condición conocida como cor pulmonale. Las personas que no logran adaptarse adecuadamente pueden desarrollar mal de altura crónico o enfermedad de Monge, caracterizada por síntomas de fatiga, cefalea, hipoxemia grave y policitemia excesiva <sup>23</sup>

### **2.2.2 Funcionamiento del sistema cardiovascular en condiciones normales**

Sistema cardiovascular, compuesto por el corazón, los vasos sanguíneos y la sangre, es responsable de mantener la circulación eficiente de oxígeno, nutrientes y desechos metabólicos a todas las células del cuerpo. Funciona como un circuito cerrado que se

ajusta a las demandas metabólicas del organismo a través de la modulación del flujo sanguíneo y la presión arterial.

#### *Estructura y función del corazón*

El corazón es un órgano muscular dividido en cuatro cámaras: dos aurículas y dos ventrículos, que funcionan de manera coordinada para bombear sangre. La aurícula derecha recibe sangre desoxigenada del cuerpo y la envía al ventrículo derecho, que la impulsa hacia los pulmones para su oxigenación. La aurícula izquierda recibe sangre oxigenada de los pulmones y la transfiere al ventrículo izquierdo, que la bombea al resto del cuerpo a través de la aorta. El corazón sigue un ciclo cardíaco que incluye la sístole (contracción) y la diástole (relajación), regulado por el sistema de conducción eléctrica que incluye el nodo sinoauricular y el nodo auriculoventricular<sup>23,19</sup>

#### *Función de los vasos sanguíneos*

El sistema vascular está compuesto por arterias, venas y capilares, que transportan sangre desde el corazón hacia los tejidos y viceversa. Las arterias llevan sangre oxigenada desde el corazón hacia los órganos y tejidos, mientras que las venas retornan la sangre desoxigenada al corazón. Los capilares, que conectan arterias y venas, son responsables del intercambio de gases y nutrientes a nivel tisular. La elasticidad de las arterias y la resistencia en los vasos más pequeños (arteriolas) son factores clave en la regulación de la presión arterial<sup>24</sup>

#### *Gasto cardíaco y regulación del flujo sanguíneo*

El gasto cardíaco es la cantidad de sangre que el corazón bombea por minuto y es el resultado del volumen sistólico (la cantidad de sangre expulsada en cada contracción) y la frecuencia cardíaca. Este se adapta a las necesidades del organismo mediante mecanismos de regulación nerviosa y hormonal, como la activación del sistema nervioso simpático en situaciones de estrés o ejercicio, que incrementa la frecuencia cardíaca y la contractilidad del miocardio. Además, el sistema renina-angiotensina-aldosterona y la liberación de hormonas como la adrenalina juegan un papel fundamental en la regulación del volumen sanguíneo y la presión arterial<sup>25</sup>

#### *Intercambio de gases y metabolismo celular*

El intercambio de gases (oxígeno y dióxido de carbono) ocurre a nivel de los capilares pulmonares y los tejidos periféricos. A través de los capilares pulmonares, la sangre recibe oxígeno y libera dióxido de carbono, que es exhalado. En los tejidos, el oxígeno se difunde desde la sangre hacia las células, mientras que el dióxido de carbono, como producto del metabolismo celular, se transfiere a la sangre para ser transportado de vuelta a los pulmones.

El sistema cardiovascular también juega un papel en el mantenimiento de la homeostasis a través de la regulación de la temperatura corporal y el equilibrio de líquidos y electrolitos, lo que asegura la estabilidad del ambiente interno del organismo<sup>26</sup>

### **2.2.3 Efectos fisiológicos de la altitud en el cuerpo humano.**

El ascenso a grandes altitudes genera una serie de cambios fisiológicos en el cuerpo debido a la disminución de la presión atmosférica y, por consiguiente, de la presión parcial de oxígeno (hipoxia hipóxica). El cuerpo humano responde a estos cambios mediante una serie de adaptaciones tanto a corto como a largo plazo para mantener la homeostasis y el suministro adecuado de oxígeno a los tejidos.

#### *Hipoxia hipóxica y su impacto en el cuerpo*

A altitudes elevadas (a partir de los 2,500 metros sobre el nivel del mar), la presión parcial de oxígeno en el aire disminuye significativamente, lo que reduce la cantidad de oxígeno disponible para ser absorbido por los pulmones. Esta hipoxia desencadena respuestas inmediatas y prolongadas en diversos sistemas del cuerpo. Una de las primeras reacciones es la hiperventilación, mediante la cual el organismo aumenta la frecuencia y profundidad de la respiración para compensar la baja saturación de oxígeno en la sangre. Sin embargo, la hiperventilación prolongada puede llevar a una disminución de los niveles de dióxido de carbono en sangre, generando alcalosis respiratoria<sup>27</sup>

#### *Adaptaciones cardiovasculares*

El sistema cardiovascular es uno de los principales afectados por la exposición a la altitud. En respuesta a la hipoxia, la frecuencia cardíaca aumenta, elevando el gasto cardíaco de manera temporal para mejorar el transporte de oxígeno. Además, ocurre una vasoconstricción pulmonar hipóxica, que aumenta la presión arterial pulmonar y puede sobrecargar el ventrículo derecho del corazón. Con el tiempo, el cuerpo incrementa la

producción de glóbulos rojos (eritrocitos) mediante la secreción de eritropoyetina (EPO), mejorando la capacidad de transporte de oxígeno en la sangre, aunque esto también aumenta la viscosidad de la sangre y la demanda del corazón <sup>28</sup>

#### *Cambios hematológicos y respiratorios*

Uno de los mecanismos más destacados de adaptación a la altitud es el aumento del hematocrito y de la concentración de hemoglobina en la sangre, lo que facilita el transporte de oxígeno. Este proceso, denominado policitemia, es una respuesta a largo plazo que optimiza la eficiencia del oxígeno en condiciones de hipoxia crónica. A nivel pulmonar, además de la hiperventilación, se observa un incremento en la capacidad de difusión alveolar, lo que permite una mayor absorción de oxígeno durante la respiración. Sin embargo, estas adaptaciones no son siempre suficientes para prevenir síntomas como la hipoxemia, la cual puede provocar fatiga, mareos y disminución de la capacidad física <sup>21, 29</sup>

#### *Efectos a nivel metabólico y muscular*

El metabolismo celular también se adapta a la hipoxia de gran altitud. A nivel muscular, se observa una mayor dependencia del metabolismo anaeróbico debido a la menor disponibilidad de oxígeno para las células. Los músculos se vuelven más eficientes en la utilización del oxígeno, incrementando la densidad de capilares y mitocondrias. Sin embargo, la hipoxia crónica puede conducir a una reducción de la masa muscular y la capacidad aeróbica, lo que afecta el rendimiento físico, especialmente en deportes de resistencia <sup>29</sup>

#### *Efectos prolongados y aclimatación*

A largo plazo, el cuerpo humano puede aclimatarse a la altitud, pero los efectos varían según la persona. Mientras que algunas personas logran adaptarse completamente, otras pueden desarrollar mal de altura crónico, que incluye síntomas como fatiga, cefalea, disnea, y policitemia excesiva. La aclimatación implica ajustes tanto a nivel respiratorio como cardiovascular, pero la permanencia prolongada en grandes alturas puede ser perjudicial si no se maneja adecuadamente <sup>30</sup>

#### **2.2.4 Adaptaciones cardiacas a la hipoxia de altura**

La hipoxia de altura, caracterizada por una disminución de la presión parcial de oxígeno en el aire, tiene un impacto directo sobre la función cardíaca. El cuerpo humano, en respuesta a la hipoxia, desarrolla una serie de adaptaciones fisiológicas que permiten optimizar la entrega de oxígeno a los tejidos y mantener la función cardiovascular en condiciones de baja disponibilidad de oxígeno. Estas adaptaciones varían desde cambios inmediatos en la función cardíaca hasta ajustes a largo plazo en la estructura y eficiencia del corazón.

##### *Respuesta cardiovascular aguda a la hipoxia*

En las primeras horas y días tras la exposición a grandes altitudes (generalmente a partir de los 2,500 metros sobre el nivel del mar), el sistema cardiovascular responde aumentando la frecuencia cardíaca y, en menor medida, el gasto cardíaco. Estos ajustes buscan compensar la menor saturación de oxígeno en la sangre arterial. La hipoxia también provoca una vasoconstricción pulmonar hipóxica, que incrementa la resistencia vascular pulmonar y, en consecuencia, eleva la presión arterial pulmonar. Este proceso puede sobrecargar el ventrículo derecho del corazón, responsable de bombear la sangre hacia los pulmones <sup>31</sup>

##### *Adaptaciones del ventrículo derecho*

Debido al aumento en la presión pulmonar, el ventrículo derecho del corazón experimenta una hipertrofia progresiva (aumento de tamaño y masa muscular) como un mecanismo de adaptación para manejar la mayor carga de trabajo. Esta hipertrofia ventricular derecha permite que el ventrículo continúe bombeando sangre eficientemente hacia los pulmones, a pesar del aumento de la resistencia vascular. Sin embargo, una exposición prolongada a la hipoxia puede llevar a complicaciones como la insuficiencia cardíaca derecha en algunos individuos <sup>32</sup>

##### *Aumento de la eritropoyesis y el gasto cardíaco*

A medida que la exposición a la altura se prolonga, el cuerpo aumenta la producción de eritropoyetina (EPO), una hormona que estimula la producción de glóbulos rojos en la médula ósea. Este proceso, conocido como eritropoyesis, incrementa la cantidad de hemoglobina disponible para transportar oxígeno. A pesar de la mejora en la capacidad

de transporte de oxígeno, el aumento en el número de glóbulos rojos también incrementa la viscosidad de la sangre, lo que puede aumentar la resistencia al flujo sanguíneo y la carga de trabajo del corazón <sup>21, 33</sup>

#### *Ajustes a largo plazo y remodelación cardíaca*

Con el tiempo, la exposición crónica a la altitud induce una remodelación cardíaca que incluye una reducción en la masa ventricular izquierda. Este proceso se debe a la menor demanda de oxígeno en reposo en altitudes elevadas y al desarrollo de una mayor eficiencia en la entrega de oxígeno a los tejidos. Sin embargo, algunos estudios sugieren que la remodelación excesiva puede reducir la capacidad funcional del corazón en algunos individuos, afectando su capacidad de rendimiento físico <sup>33</sup>

#### *Limitaciones y riesgos de la aclimatación*

Aunque el corazón se adapta a la hipoxia, la adaptación no siempre es suficiente para evitar complicaciones, especialmente durante esfuerzos físicos intensos. Personas no aclimatadas pueden sufrir mal agudo de montaña (MAM) o desarrollar hipertensión pulmonar crónica, lo que pone en riesgo la función cardíaca a largo plazo. La aclimatación es un proceso individual, y no todos los individuos logran adaptarse de manera óptima a las condiciones de hipoxia prolongada <sup>34</sup>

### **2.2.5 Incidencia de alteraciones electrocardiográficas en altura.**

La exposición a grandes altitudes provoca una serie de cambios fisiológicos en el organismo humano, que pueden influir en la actividad eléctrica del corazón. La disminución de la presión atmosférica y la consiguiente reducción en la disponibilidad de oxígeno (hipoxia) son factores clave que pueden desencadenar alteraciones electrocardiográficas (ECG) en individuos que se encuentran a altitudes elevadas. Comprender estas alteraciones es esencial para el manejo de la salud cardiovascular en poblaciones expuestas a condiciones de hipoxia

#### *Cambios electrocardiográficos en respuesta a la hipoxia*

La hipoxia afecta la actividad eléctrica del corazón y puede provocar cambios en el ECG. Estos cambios pueden incluir taquicardia (aumento de la frecuencia cardíaca), alteraciones en la repolarización, y en algunos casos, la aparición de arritmias. Se ha observado que la hipoxia puede alterar la duración del intervalo QT, lo que puede

predisponer a un mayor riesgo de arritmias ventriculares. Estos cambios son generalmente una respuesta adaptativa a la menor disponibilidad de oxígeno, que busca optimizar el suministro de sangre y oxígeno a los tejidos<sup>35</sup>

#### *Efectos de la altitud en el sistema cardiovascular*

A medida que se asciende a mayores altitudes, el cuerpo experimenta un aumento en la frecuencia cardíaca y una disminución en el gasto cardíaco en reposo. Estos ajustes pueden ser reflejados en el ECG, donde se pueden observar cambios como el aumento de la onda P y la depresión del segmento ST, que son indicadores de sobrecarga del ventrículo derecho y disfunción miocárdica. Además, el aumento de la presión arterial pulmonar puede causar cambios en la morfología del ECG, lo que puede ser indicativo de estrés en el corazón<sup>36</sup>

#### *Incidencia de arritmias en altitud*

La incidencia de arritmias, como la fibrilación auricular y las extrasístoles ventriculares, puede aumentar en altitudes elevadas. Estos trastornos del ritmo pueden ser el resultado de la hipoxia, el aumento de la actividad simpática, y los cambios hemodinámicos que ocurren en respuesta a la altitud. La prevalencia de estas arritmias se ha documentado en estudios con deportistas y montañistas que experimentan condiciones de alta altitud, donde la adaptación cardiovascular es fundamental para el rendimiento y la salud<sup>37</sup>

#### *Importancia de la monitorización del ECG en la altitud*

La monitorización del ECG en poblaciones expuestas a grandes altitudes es crucial para identificar y gestionar las alteraciones electrocardiográficas. Las evaluaciones ECG pueden ayudar a detectar signos tempranos de estrés cardíaco y permitir intervenciones adecuadas para prevenir complicaciones más graves. Además, el análisis de los cambios en el ECG a diferentes altitudes puede proporcionar información valiosa sobre los mecanismos de adaptación del corazón a la hipoxia<sup>38</sup>

### **2.3 Jóvenes en Servicio Militar y Salud Cardiovascular**

#### *Factores de riesgo cardiovascular en jóvenes*

Los factores de riesgo cardiovascular como la hipertensión, dislipidemia, y el sedentarismo son comunes en la población juvenil. En el contexto del servicio militar, se ha observado que muchos jóvenes presentan cambios en sus hábitos alimenticios, junto

con un aumento en la actividad física. Sin embargo, el estrés y la presión psicológica pueden llevar a un estilo de vida poco saludable, contribuyendo a un riesgo cardiovascular elevado. Estudios han demostrado que el estrés crónico puede provocar disfunción endotelial y contribuir a la progresión de enfermedades cardiovasculares en jóvenes militares <sup>39</sup>

#### *Efectos del entrenamiento físico en la salud cardiovascular*

El entrenamiento físico intenso y regular que se realiza en el servicio militar tiene un efecto positivo en la salud cardiovascular. El ejercicio aumenta el rendimiento cardiovascular, mejora la función endotelial y ayuda a mantener un peso corporal saludable. Sin embargo, el sobreentrenamiento puede llevar a la fatiga crónica y lesiones, que podrían contrarrestar los beneficios del ejercicio. Investigaciones sugieren que los jóvenes en el servicio militar que participan en programas de entrenamiento bien estructurados muestran una disminución en los factores de riesgo cardiovascular, como la hipertensión y la obesidad <sup>40</sup>

#### *Monitorización de la salud cardiovascular*

La monitorización regular de la salud cardiovascular es esencial para los jóvenes en servicio militar. Se ha recomendado la implementación de programas de evaluación médica que incluyan el control de la presión arterial, el perfil lipídico y la evaluación del estado físico. La identificación temprana de factores de riesgo puede facilitar intervenciones oportunas, mejorando la salud cardiovascular a largo plazo. Además, el acceso a recursos de salud mental es crucial para abordar el impacto del estrés y la ansiedad en la salud cardiovascular <sup>41</sup>

## **2.4 Telemedicina y Telesalud en la Detección de enfermedades Cardíacas**

La telesalud ha transformado la atención médica, especialmente en el área de la salud cardiovascular. Este enfoque utiliza tecnologías avanzadas y herramientas innovadoras para proporcionar servicios de salud a distancia, permitiendo un monitoreo más efectivo de las condiciones cardíacas a través de electrocardiogramas (EKG).

#### *Tecnologías y herramientas en telesalud para EKG*

Las tecnologías utilizadas en telesalud incluyen diversas herramientas que permiten la monitorización continua y el manejo de la salud cardiovascular.

Dispositivos de EKG portátiles: Los dispositivos de EKG portátiles, como los monitores de un solo canal CardioPerfec WellAllyn, son accesibles para los pacientes y fáciles de usar. Estos dispositivos permiten a los usuarios realizar un EKG en cualquier momento y en cualquier lugar, enviando los datos directamente a los profesionales de la salud. Esto proporciona un monitoreo en tiempo real y ayuda en la detección temprana de arritmias, así como en la evaluación del tratamiento en pacientes con enfermedades cardíacas preexistentes <sup>43</sup>

Plataformas de teleconsulta y aplicaciones móviles: La teleconsulta permite a los médicos revisar los resultados de los EKG y realizar diagnósticos a distancia. Las aplicaciones móviles diseñadas para la salud cardiovascular ofrecen características como el seguimiento de la presión arterial, la frecuencia cardíaca y el registro de los síntomas. Estas aplicaciones, junto con la teleconsulta, ayudan a los pacientes a mantener un contacto continuo con sus médicos, lo que mejora la adherencia al tratamiento y la gestión de condiciones crónicas <sup>44, 45</sup>

Sistemas de gestión de datos de salud: La integración de los resultados del EKG con otros datos clínicos, como la historia médica y los signos vitales, a través de sistemas de gestión de datos, permite una visión integral de la salud del paciente. Esto facilita la toma de decisiones clínicas y la personalización del tratamiento según las necesidades específicas de cada paciente <sup>46</sup>

## **2.5 Beneficios de la telesalud en el monitoreo de la salud cardiovascular por EKG**

La telesalud proporciona una serie de beneficios significativos en la gestión de la salud cardiovascular:

Acceso mejorado a atención médica especializada: La telesalud elimina las barreras geográficas, permitiendo que pacientes en áreas rurales o desatendidas accedan a atención especializada sin necesidad de desplazamientos prolongados. Esto es crucial en el manejo de enfermedades cardíacas, donde el tiempo es un factor determinante para el éxito del tratamiento <sup>46, 47</sup>

- Seguimiento constante y identificación precoz: La habilidad de llevar a cabo un seguimiento constante del EKG posibilita que los médicos detecten rápidamente alteraciones en la función del corazón, lo que puede evitar serias complicaciones.

Esto resulta particularmente crucial en grupos de alto riesgo, donde la identificación precoz de arritmias o sucesos cardíacos puede rescatar vidas.

- Potenciación del paciente: La telesalud fomenta la autoeducación y el autocuidado del paciente al brindarles instrumentos para el seguimiento de su salud. Los pacientes que emplean dispositivos portátiles de EKG pueden asumir la responsabilidad de su estado, promoviendo así hábitos saludables y un mayor cumplimiento con el tratamiento.<sup>48, 49</sup>
- Reducción de costos: La telesalud puede reducir costos asociados con las hospitalizaciones y visitas al consultorio, proporcionando una forma más económica de monitorear y gestionar la salud cardiovascular. Esto es beneficioso tanto para los pacientes como para los sistemas de salud.

#### *Desafíos de la telesalud en el monitoreo de la salud cardiovascular por EKG*

A pesar de sus ventajas, la telesalud enfrenta varios desafíos que pueden afectar su implementación y efectividad:

- Problemas tecnológicos: La calidad de la conexión a internet y la disponibilidad de dispositivos adecuados son factores críticos que pueden limitar el acceso a la telesalud. No todos los pacientes tienen la capacidad técnica para operar dispositivos o aplicaciones, lo que puede crear una brecha en la atención.
- Privacidad y seguridad de los datos: La transmisión de datos de salud, incluidos los resultados de EKG, plantea riesgos de privacidad y seguridad. Es fundamental que se implementen medidas adecuadas para proteger la información sensible del paciente, cumpliendo con regulaciones como la Ley de Portabilidad y Responsabilidad del Seguro de Salud (HIPAA) en EE. UU.<sup>49</sup>
- Integración en la práctica clínica: La falta de interoperabilidad entre diferentes sistemas de salud y plataformas de telesalud puede dificultar la continuidad de la atención. Los datos del EKG y otros registros clínicos deben ser accesibles y utilizables por todos los profesionales de la salud involucrados en el cuidado del paciente.<sup>50</sup>
- Percepción y aceptación del paciente: Algunos pacientes pueden ser reacios a utilizar la telesalud debido a la falta de confianza en la tecnología o la preferencia

por la atención en persona. Es crucial educar a los pacientes sobre los beneficios y la seguridad de los servicios de telesalud para mejorar su aceptación <sup>51</sup>

## **2.6 Tamizaje de Alteraciones Electrocardiográficas**

- El tamizaje de alteraciones electrocardiográficas (ECG) en jóvenes que prestan el servicio militar en condiciones de altitud es de vital importancia para garantizar la salud cardiovascular y prevenir complicaciones durante el entrenamiento y las operaciones. La altitud presenta desafíos fisiológicos únicos que pueden afectar el sistema cardiovascular, haciendo que el monitoreo y la detección temprana de alteraciones sean aún más críticos.

### *Impacto de la Altitud en la Fisiología Cardiovascular*

La exposición a altitudes elevadas, donde la presión parcial de oxígeno es menor, induce cambios fisiológicos significativos en el cuerpo. En respuesta, el sistema cardiovascular se adapta para asegurar una adecuada oxigenación de los tejidos. Estas adaptaciones incluyen un aumento en la frecuencia cardíaca, cambios en la presión arterial y una mayor producción de glóbulos rojos. Sin embargo, estas adaptaciones pueden también desencadenar alteraciones electrocardiográficas que son cruciales para detectar en jóvenes en servicio militar <sup>52</sup>

### *Alteraciones Electrocardiográficas Comunes a Gran Altura*

Los cambios en el ECG en individuos que se encuentran a gran altitud pueden incluir modificaciones en la repolarización, así como cambios en el intervalo QT y en la amplitud de las ondas. Estos cambios son a menudo el resultado de la hipoxia y pueden ser más pronunciados en individuos sin aclimatación previa. La identificación de estos patrones electrocardiográficos es esencial, ya que pueden ser indicativos de un mayor riesgo de arritmias y otros eventos adversos <sup>54, 55</sup>

### *Importancia del Tamizaje en Jóvenes en Servicio Militar*

El tamizaje electrocardiográfico en jóvenes reclutas en ambientes de altitud es vital para detectar condiciones subyacentes que podrían no manifestarse en condiciones normales. Se recomienda realizar un ECG como parte de la evaluación inicial y realizar un seguimiento continuo durante su servicio en altitudes. Esto no solo permite identificar

anomalías, sino que también brinda la oportunidad de evaluar la capacidad de aclimatación de los soldados <sup>56, 57</sup>

#### Protocolos y Estrategias de Tamizaje

El desarrollo de protocolos estandarizados para el tamizaje electrocardiográfico es esencial. Estos protocolos deben incluir la evaluación inicial con ECG y la consideración de factores de riesgo adicionales, como la historia familiar de enfermedades cardiovasculares y síntomas clínicos previos. Además, el monitoreo continuo a través de dispositivos portátiles puede proporcionar información valiosa sobre la salud cardíaca durante la aclimatación y el entrenamiento en altitud <sup>58, 59</sup>

#### Desafíos y Consideraciones Éticas

El tamizaje electrocardiográfico en jóvenes soldados que operan en altitudes elevadas también presenta desafíos. La interpretación de los ECG en este contexto puede ser compleja debido a la influencia de la altitud en los resultados. Además, es importante abordar las preocupaciones éticas sobre la confidencialidad y el manejo de los resultados, garantizando que los soldados comprendan la importancia del tamizaje y se sientan cómodos al respecto <sup>60, 61</sup>

## **2.7 Hipótesis**

La hipótesis sostiene que la prolongada exposición a la hipoxia de altitud provoca una serie de adaptaciones cardiovasculares que, a pesar de ser esenciales para la supervivencia en entornos de escasa presión de oxígeno, también pueden provocar cambios en la función cardíaca y en la actividad eléctrica del corazón. En los jóvenes que se encuentran en altas altitudes, la escasez de oxígeno puede causar alteraciones en el sistema cardiovascular que se manifiestan en el electrocardiograma (ECG).

La hipoxia crónica en altas altitudes causa adaptaciones tales como un incremento en la tensión arterial pulmonar, hipertrofia del ventrículo derecho y alteraciones en la repolarización del ventrículo. Estas reacciones fisiológicas son particularmente marcadas en personas no aclimatadas o en aquellas que se ven sometidas a un esfuerzo físico considerable, como los jóvenes militares en formación.

Es probable que los pacientes que han permanecido en altitud durante un periodo más extenso muestren un riesgo elevado de desarrollar trastornos en el ECG, como arritmias,

variaciones en el segmento ST, extensión del intervalo QT y otros indicios de tensión cardiovascular. Este efecto se agravaría debido a la carga física que conlleva el entrenamiento militar, que puede empeorar las respuestas fisiológicas ya modificadas por la hipoxia. Así pues, al contrastar conscriptos que han permanecido más tiempo en altitudes altas con aquellos que han estado expuestos por menos tiempo o en altitudes inferiores, se anticipa que la prevalencia de cambios electrocardiográficos sea considerablemente superior en el primer grupo. Esto podría respaldar la puesta en marcha de programas de seguimiento cardiovascular más regulares en entornos de altura, además de modificaciones en los protocolos de entrenamiento para disminuir el peligro de problemas cardíacos.

## **2.8 Marco Contextual**

Esta investigación acerca del análisis de cambios electrocardiográficos (ECG) en jóvenes que realizan el servicio militar en el Cuartel Max Toledo, ubicado en el municipio de Viacha, toma como marco tanto las particularidades geográficas y ambientales de la zona, como el contexto de salud pública y telesalud. Este contexto permite entender las especificidades de la población analizada, los retos que conlleva la altitud y las tecnologías de telesalud empleadas para el diagnóstico y monitoreo de los trastornos cardiovasculares en este contexto.

## **2.9 Municipio de Viacha y el Cuartel Max Toledo**

Viacha es una localidad ubicada en el departamento de La Paz, Bolivia, con una elevación de cerca de 3,900 metros sobre el nivel del mar. Este es un elemento crucial para la realización de esta investigación, dado que la altitud influye directamente en la fisiología humana, especialmente en el sistema cardiovascular. El Cuartel Max Toledo, situado en esta zona, acoge a jóvenes que cumplen su servicio militar obligatorio, quienes se ven sometidos a esfuerzos físicos intensos en un entorno con escasos niveles de oxígeno. Esto genera condiciones de riesgo para el surgimiento de problemas cardiovasculares, transformándolos en una población propensa a problemas cardíacos originados por la hipoxia de altura. En Bolivia, el servicio militar es obligatorio para hombres de 18 años en adelante, quienes deben finalizar un estricto periodo de preparación física y militar. Este tipo de entrenamiento en altitud, en situaciones de estrés físico continuo, puede

intensificar las reacciones del cuerpo a la hipoxia, incrementando la posibilidad de problemas electrocardiográficos.

### **2.10 Altitud y sus Efectos en la Salud Cardiovascular**

El papel de la altitud es crucial en el análisis de las modificaciones electrocardiográficas. En altitudes elevadas, la presión del oxígeno se reduce considerablemente, lo que impulsa al organismo a crear mecanismos compensatorios como el incremento de la frecuencia cardíaca y el gasto cardíaco, además de la generación de más glóbulos rojos para optimizar la oxigenación. No obstante, estas adaptaciones pueden provocar efectos perjudiciales en el sistema cardiovascular, tales como hipertrofia del ventrículo derecho, incremento en la presión arterial pulmonar y alteraciones en la repolarización del corazón, los cuales pueden ser identificados a través de un electrocardiograma.

Estas modificaciones son más evidentes en personas no aclimatadas o en quienes llevan a cabo actividades físicas que resultan agobiantes, como los jóvenes que están en servicio militar. Adicionalmente, la mezcla de hipoxia con el esfuerzo físico puede causar irregularidades como arritmias, isquemia miocárdica o la extensión del intervalo QT, entre otras irregularidades eléctricas.<sup>3</sup>

#### **3. Uso de Telesalud en el Tamizaje de Alteraciones Electrocardiográficas**

El tamizaje de alteraciones electrocardiográficas en este contexto, ocurre por vía de la telesalud. La telesalud es una red que posibilita el acceso remoto a los servicios médicos al vincular a los profesionales de la salud con los pacientes, independientemente de donde ambos estén. En el caso del Cuartel Max Toledo, la telesalud se utiliza para monitorear y evaluar el estado de salud cardiovascular de los jóvenes conscriptos donde los resultados de los exámenes de ECG se envían a centros de salud o especialistas que, a distancia, puedan analizar y dar un diagnóstico a las posibles alteraciones.

El uso de la telesalud es particularmente beneficioso para esta población dado que la distancia a los centros médicos especializados y la infraestructura limitada no sería posible de otra manera. Por lo tanto, se registran electrocardiogramas con dispositivos portátiles de monitoreo o estaciones fijas montadas en el cuartel y se envían de forma digital a cardiólogos. El uso en masa del método de detección permitió una respuesta rápidamente en el caso de anomalías, minimizando la probabilidad de eventos CV agudos entre los conscriptos.

### *Infraestructura y Recursos Médicos Disponibles*

No obstante, el acceso a infraestructuras adecuadas para utilizar la telesalud sigue siendo un desafío a pesar de sus ventajas. En zonas rurales y a gran altitud, como Viacha, el Cuartel Max Toledo ofrece personal de salud y algunos equipos médicos básicos. Sin embargo, su capacidad tecnológica para realizar diagnósticos precisos y oportunos no es superior, por lo que la calidad del cuidado ofrecido a la población depende en gran medida de la tecnología. La telesalud ha mejorado la calidad del cuidado médico en el área, aunque la conectividad, el mantenimiento de los equipos y la capacitación del personal en la utilización de esta tecnología siguen siendo insuficientes para lograr diagnósticos efectivos.

Alternativamente, los servicios de salud pública han permitido un mayor acceso a la atención a través de programas. La estructura de la atención ha permitido extender el acceso en términos de espacio y tiempo a través de la implementación de políticas para la prestación de servicios en áreas rurales y de difícil acceso. Las políticas gubernamentales se han centrado en evitar que los pacientes en cotas muy altas tengan que trasladarse a largas distancias para acceder a atención especializada, y más aún en casos de emergencia o acompañamiento de enfermedades crónicas.

## **CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO**

### **3.1 Enfoque y diseño de investigación**

#### **3.1.1 Enfoque de la Investigación**

La orientación de esta investigación es cuantitativa. La selección del método cuantitativo se basa en la necesidad de evaluar objetivamente las alteraciones electrocardiográficas (ECG) en jóvenes conscriptos que han estado expuestos a la hipoxia de altura. El método cuantitativo es el más apropiado, dado que posibilita llevar a cabo mediciones mediante electrocardiogramas, los cuales serán estudiados de manera estadística para determinar vínculos entre factores como el tiempo de exposición a la altura y la manifestación de trastornos cardiovasculares.<sup>62</sup>

#### **3.1.2 Diseño de la Investigación**

La estructura de la investigación es no experimental, de corte transversal y descriptiva. Se elige un diseño no experimental, dado que las variables no serán alteradas, sino que serán examinadas y estudiadas en un ambiente tangible. El diseño transversal posibilita realizar un "intervalo" temporal para medir la prevalencia de cambios en una población concreta en un instante específico. Este método permite el estudio de las alteraciones ECG identificadas a través de telesalud, sin afectar el ambiente o a los conscriptos.<sup>62, 63</sup>

Se optó por el diseño descriptivo ya que se enfoca en detallar las propiedades detectadas en los datos sin establecer vínculos causales. Por lo tanto, el objetivo es registrar la prevalencia de los cambios electrocardiográficos y el efecto de la altura en la salud cardiovascular de los soldados jóvenes.<sup>63</sup>

### **3.2 Población y Muestra**

#### **3.2.1 Población**

La población se compone de jóvenes hombres de entre 18 y 22 años, que realizan el servicio militar obligatorio en el Cuartel Max Toledo, ubicado en el municipio de Viacha, a una altitud de 3,900 metros sobre el nivel del mar. Alrededor de 350 soldados residen en el cuartel durante el ciclo de servicio militar, de los cuales una compañía esta conformada 120 soldados. La exposición a la altitud, sumada al fuerte esfuerzo físico propio del entrenamiento militar, hace que este grupo de personas sea propenso a sufrir trastornos electrocardiográficos<sup>64</sup>

### 3.2.2 Muestra

La muestra se compone de 100 conscriptos pertenecientes al Cuartel Max Toledo. Esta muestra se elige de forma no probabilística por comodidad, ya que se utiliza un bloque de soldados que se encuentra disponible para el tamizaje. La elección del tamaño de la muestra se basó en las habilidades de procesamiento y los medios disponibles para llevar a cabo la investigación, garantizando que los datos sean representativos y faciliten un análisis apropiado de las modificaciones ECG detectadas. <sup>65</sup>

### 3.3 Variables de Estudio

#### 3.3.1 Identificación de Variables

##### Variable Dependiente

- Alteraciones electrocardiográficas
- Definición conceptual: Cambios en el electrocardiograma que indican posibles patologías cardiovasculares o adaptaciones fisiológicas debido a la exposición a la altura.
- Definición operacional: Se identifican mediante la interpretación de los electrocardiogramas tomados en jóvenes militares y enviados a través de telesalud.
- Indicadores:
  - Bradicardia Sinusal
  - Sobrecarga Ventricular Derecha
  - Alteraciones de la Onda T
  - Bloqueos Incompletos de Rama Derecha
  - Altura de la Onda P

##### Variables Independientes

###### a. Altitud

- Definición conceptual: Elevación geográfica sobre el nivel del mar, característica del municipio de Viacha.
- Definición operacional: Altitud registrada del Cuartel Max Toledo (aproximadamente 3,900 m.s.n.m.).

- Indicadores:
- Altitud en metros sobre el nivel del mar.

#### b. Edad

- Definición conceptual: Intervalo etario de los jóvenes militares participantes en el estudio.
- Definición operacional: Edad registrada en años completos de cada participante.
- Indicadores:
- Promedio de edad.
- Rango de edad (18 a 22 años)

#### Variables Intervinientes

##### a. Tiempo de exposición a la altura

- Definición conceptual: Duración de la residencia de los jóvenes en condiciones de altura.
- Definición operacional: Meses transcurridos desde que los jóvenes llegaron al cuartel hasta el momento de la evaluación.
- Indicadores:
- Tiempo promedio en meses.

##### b. Factores adaptativos cardiovasculares

- Definición conceptual: Cambios en el sistema cardiovascular debido a la hipoxia de altura.
- Definición operacional: Registro de adaptaciones en los EKG, como bradicardia sinusal o hipertrofias ventriculares.
- Indicadores:
- Frecuencia de bradicardia sinusal.
- Presencia de hipertrofias ventriculares.

## 3.3.2 Diagrama de variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicador(es)	Escala de Medición
<b>Alteraciones electrocardiográficas</b>	Modificaciones en los patrones normales de un electrocardiograma que pueden indicar condiciones patológicas o adaptativas.	Resultado del análisis del EKG basado en los criterios de normalidad según edad, sexo y altitud.	- Frecuencia cardíaca - Intervalos PR, QT - Eje eléctrico - Presencia de arritmias, bloqueos, etc.	Nominal (presencia/ausencia de alteraciones)
<b>Altitud (altura)</b>	Condición geográfica caracterizada por una elevación sobre el nivel del mar que impacta la fisiología humana.	Altura geográfica del Cuartel Max Toledo (aproximadamente 3,900 m.s.n.m.).	Altitud en metros sobre el nivel del mar	Numérica (continua)
<b>Telesalud</b>	Uso de tecnologías de comunicación para realizar evaluaciones de	Uso de plataformas y dispositivos para registrar, enviar y analizar	- Uso de dispositivos EKG portátiles - Disponibili	Nominal (uso/no uso)

	salud a distancia.	electrocardiogramas en tiempo real.	dad de conexión remota	
<b>Jóvenes en servicio militar</b>	Personas de entre 18 y 22 años que cumplen con su servicio militar obligatorio.	Población específica del Cuartel Max Toledo con características sociodemográficas definidas.	- Edad - Sexo - Tiempo en el servicio	Nominal (hombres/mujeres)
<b>Frecuencia de alteraciones</b>	Proporción de jóvenes con resultados electrocardiográficos alterados.	Número de jóvenes con alteraciones dividido entre el total de jóvenes evaluados.	- Porcentaje de alteraciones - Subtipos de alteraciones (e.g., bradicardia, hipertrofia, etc.)	Porcentajes
<b>Factores fisiológicos adaptativos</b>	Cambios cardiovasculares asociados a la exposición prolongada a la altura.	Presencia de signos de adaptación cardiovascular evaluados por EKG.	- Hipertrofia ventricular - Bradicardia sinusal - Cambios	Nominal (presencia/ausencia de adaptaciones)

			en el eje eléctrico	
--	--	--	------------------------	--

### **3.4 Criterios de inclusión y exclusión**

#### **3.4.1 Criterios de inclusión**

- Jóvenes varones de 18 a 22 años que prestan servicio militar en el Regimiento 1 del Batallón del Cuartel Max Toledo.
- Conscriptos que lleven un mínimo de 6 meses de servicio militar, expuestos a la altura de 3,800 metros sobre el nivel del mar.
- Soldados sin antecedentes médicos de enfermedades cardiovasculares graves previas a su servicio militar.

#### **3.4.2 Criterios de exclusión**

- Todos los jóvenes que no formen parte del servicio militar obligatorio del Regimiento 1 del Batallón mencionado.
- Conscriptos que tengan un historial médico de enfermedades cardiovasculares diagnosticadas previamente o aquellos que hayan sufrido lesiones graves que interfieran con la realización de las pruebas de electrocardiograma.
- Jóvenes que se hayan ausentado de su servicio militar por más de 2 semanas consecutivas debido a razones personales o de salud, ya que la exposición a la altura no sería constante.

### **3.5 Procedimientos para la Recolección de la Información**

#### **3.5.1 Fuente de recolección de la información**

- Fuentes primarias: La información será recolectada directamente de los conscriptos a través de la realización de electrocardiogramas (ECG).
- Fuentes secundarias: La información también será obtenida de registros médicos previos, como las historias clínicas del cuartel, y reportes de entrenamiento físico del servicio militar.

### **3.5.2 Instrumentos de recojo de información**

- Electrocardiogramas (ECG): Se utilizará un electrocardiógrafo digital para realizar los ECG y detectar posibles alteraciones electrocardiográficas en los conscriptos.
- Cuestionarios validados: Se emplearán cuestionarios estandarizados sobre nivel de actividad física, hábitos de vida, y estado de salud previo, que incluirán preguntas sobre el consumo de alcohol, tabaco y otros factores de riesgo.
- Hojas de registro: Estas se usarán para recolectar y organizar los resultados de los ECG y los datos obtenidos de los cuestionarios.
- Revisión de registros médicos: Historias clínicas del cuartel y reportes de entrenamiento militar serán revisados para complementar los datos.

### **3.5.3 Procedimientos y técnicas**

- Toma de ECG: A cada conscripto se le realizará un electrocardiograma para identificar la presencia de arritmias, hipertrofia ventricular o cualquier otra alteración en el ECG.
- Aplicación de Cuestionarios: Los conscriptos completarán cuestionarios acerca de sus hábitos de vida, como el consumo de alcohol y tabaco, y su nivel de actividad física. Estos cuestionarios serán aplicados en el mismo momento en que se realice el ECG para asegurar la coherencia en la toma de datos.
- Revisión de Expedientes: Se revisarán los registros médicos del cuartel, así como los informes de entrenamiento físico, para obtener información adicional relevante sobre la salud y el desempeño de los conscriptos durante su servicio militar.

### **3.6 Plan de Procesamiento y análisis de los datos**

- Procesamiento de los datos: Los datos recolectados serán ingresados en una base de datos utilizando el programa Microsoft Excel para su organización y almacenamiento inicial. Posteriormente, serán exportados a un software estadístico como SPSS o Stata para su análisis.
- Análisis estadístico: Se emplearán análisis descriptivos para evaluar la prevalencia de alteraciones electrocardiográficas en los conscriptos. También se realizarán análisis bivariados (como la prueba de chi-cuadrado para comparar la

presencia de alteraciones ECG según la exposición a la altura y otros factores como la actividad física).

- Análisis de correlación: Se utilizará un análisis de regresión logística para determinar la relación entre variables independientes como el tiempo de exposición a la altura y la presencia de alteraciones en el ECG.
- Métodos de análisis: Los resultados se presentarán en forma de tablas y gráficos que mostrarán la prevalencia de alteraciones ECG, así como las correlaciones significativas entre las variables.

### **3.7 Delimitaciones de la Investigación**

En este apartado se establecerá descriptivamente la cobertura que tendrá la investigación en lo relativo a:

#### **3.7.1 Delimitación geográfica**

El estudio se realizará en el Cuartel Max Toledo, ubicado en el municipio de Viacha, Bolivia, a una altitud de 3,800 metros sobre el nivel del mar. Esta ubicación se seleccionó por su gran altitud, lo que la convierte en un lugar ideal para estudiar los efectos de la hipoxia en el sistema cardiovascular.

#### **3.7.2 Sujetos**

Los sujetos de estudio serán 100 conscriptos del Regimiento 1 del Batallón del Cuartel Max Toledo, varones entre 18 y 22 años, que han estado expuestos a la altura. Los conscriptos serán seleccionados mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia.

#### **3.7.3 Delimitación Temporal**

El estudio se llevará a cabo entre los meses de marzo y diciembre de 2024, cubriendo las siguientes fases:

Enero: Diseño del protocolo de investigación.

Febrero: Recolección de datos (realización de ECG, cuestionarios, revisión de registros).

Marzo: Procesamiento y análisis de los datos.

Junio: Elaboración y presentación del informe final de investigación.

## Descripción, sistematización y análisis de datos

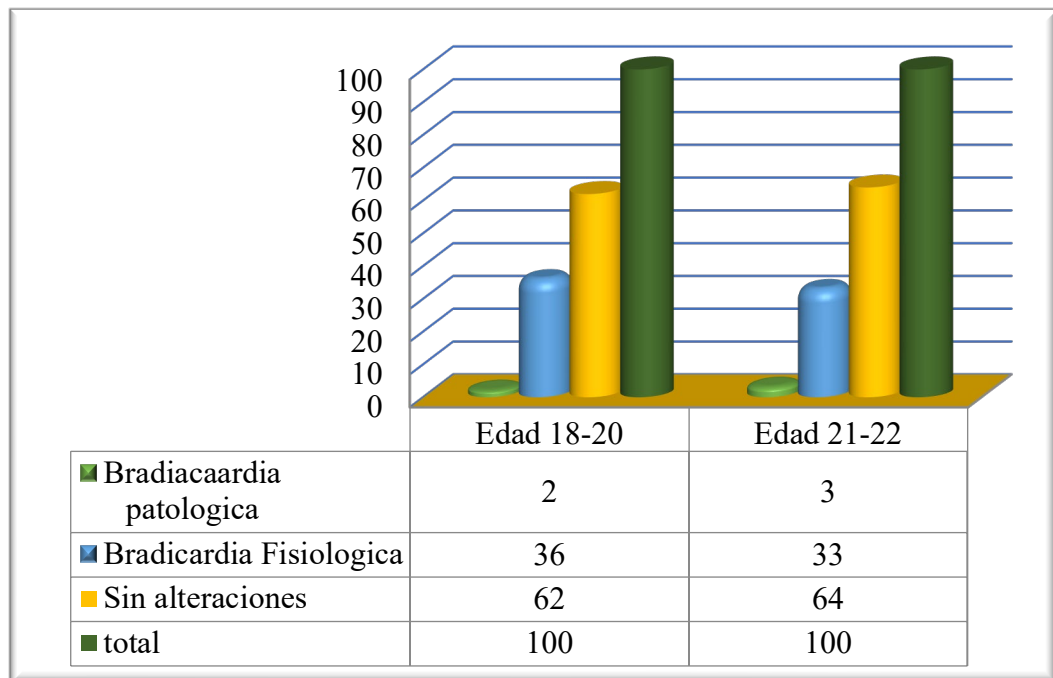
Variable dependiente Alteraciones electrocardiográfica: Bradicardia sinusal

*Tabla 1. Interpretación sobre bradicardia*

Distribución	Edad 18-20	Edad 21-22
Condición De Salud	20	20
Consentimiento Informado	20	20
Rechazo	20	20

Nota: información propia

*Gráfico 1. Alteraciones encontradas. Bradicardia sinusal*



Nota: información propia

Interpretación El gráfico muestra la distribución de bradicardia y función cardíaca normal en jóvenes militares de 18-22 años en altura. La **bradicardia fisiológica** es frecuente, con 36 casos en el grupo de 18-20 años y 33 en el de 21-22 años, reflejando adaptaciones normales a la hipoxia. Los casos de **bradicardia patológica** son mínimos (2 y 3 casos,

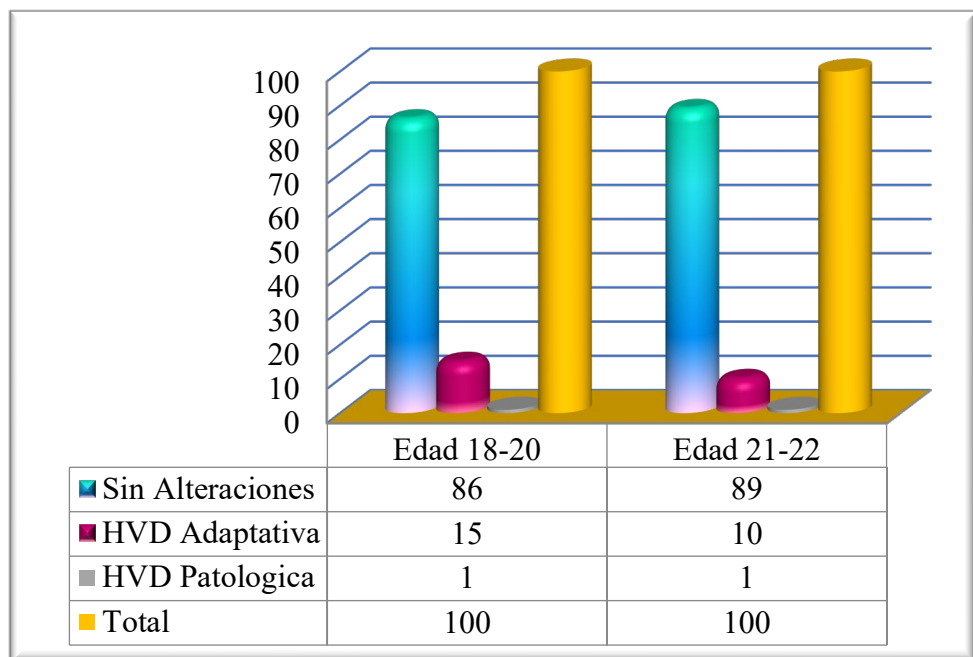
respectivamente), pero requieren seguimiento para descartar riesgos. La mayoría de los participantes presenta función cardíaca normal (62 en 18-20 años y 64 en 21-22 años), indicando una buena salud general y adaptación a la altura. Estos resultados destacan la utilidad del tamizaje para diferenciar entre adaptaciones normales y alteraciones clínicas.

**Tabla 2. Interpretación sobre Hipertrofia ventricular derecha**

Evaluación ECG	Edad 18-20	Edad 21-22
Desviación del eje eléctrico hacia la derecha	SI	SI
Ondas R altas en V1 y V2	SI	SI
Ondas S profundas en V5 y V6	SI	SI
<b>Parámetro</b>	<b>Descripción</b>	<b>Criterios</b>

Nota: información propia

**Gráfico 2. Alteraciones encontradas. Hipertrofia Ventricular derecha**



Nota: información propia

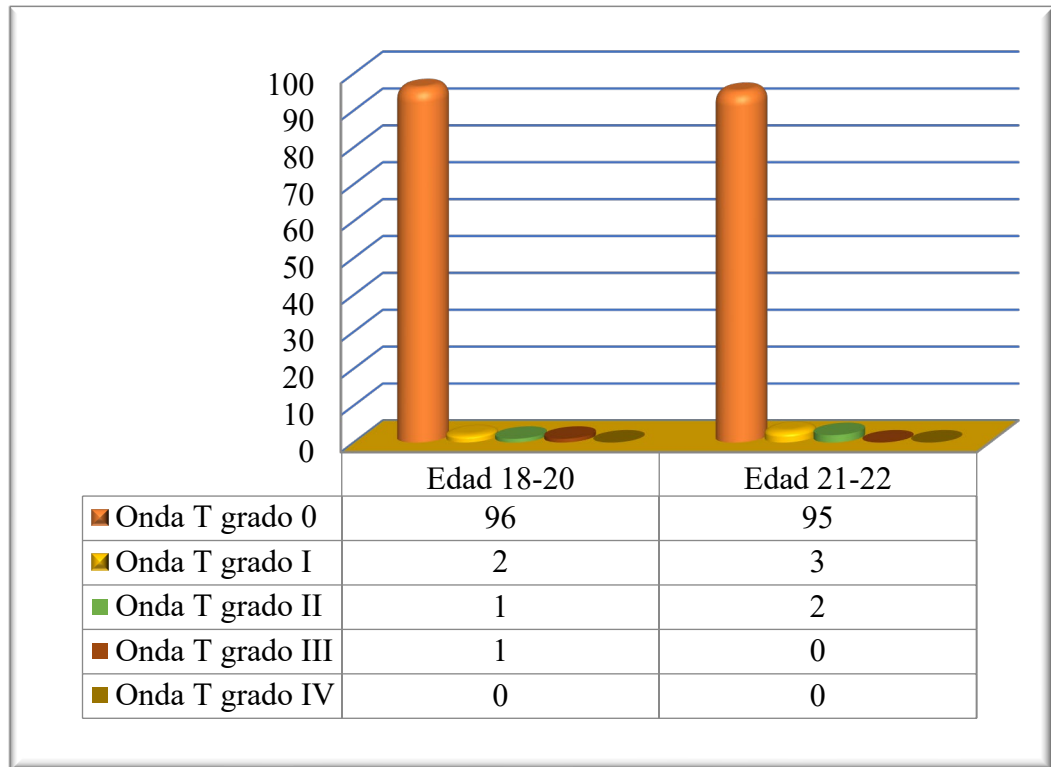
Interpretación El gráfico presenta los resultados de un estudio sobre la prevalencia de alteraciones cardíacas en dos rangos de edad: 18-20 años y 21-22 años. Se evalúan tres categorías: "Sin Alteraciones", "HVD Adaptativa" (hipertrofia ventricular adaptativa) y "HVD Patológica". En el rango de 18-20 años, el 86% de los participantes no presenta alteraciones, el 15% tiene HVD Adaptativa y el 1% muestra HVD Patológica. En el rango de 21-22 años, el porcentaje de personas sin alteraciones aumenta al 89%, mientras que la HVD Adaptativa disminuye al 10% y la HVD Patológica permanece en un 1%. El total de individuos evaluados en cada grupo es del 100%, destacando que la mayoría de los jóvenes no presentan problemas cardíacos significativos, mientras que las alteraciones adaptativas son más comunes en el grupo más joven.

**Tabla 3. Interpretación sobre Alteraciones de la Onda T**

Evaluación ECG	Edad 18-20	Edad 21-22
Onda T Grado 0	SI	SI
Onda T grado I		
Onda T grado II	SI	SI
Onda T grado III		
Onda T grado IV		
<b>Parámetro</b>	<b>Descripción</b>	<b>Criterios</b>

Nota: información propia

**Gráfico 3. Alteraciones encontradas. Alteraciones de la Onda T**



Nota: información propia

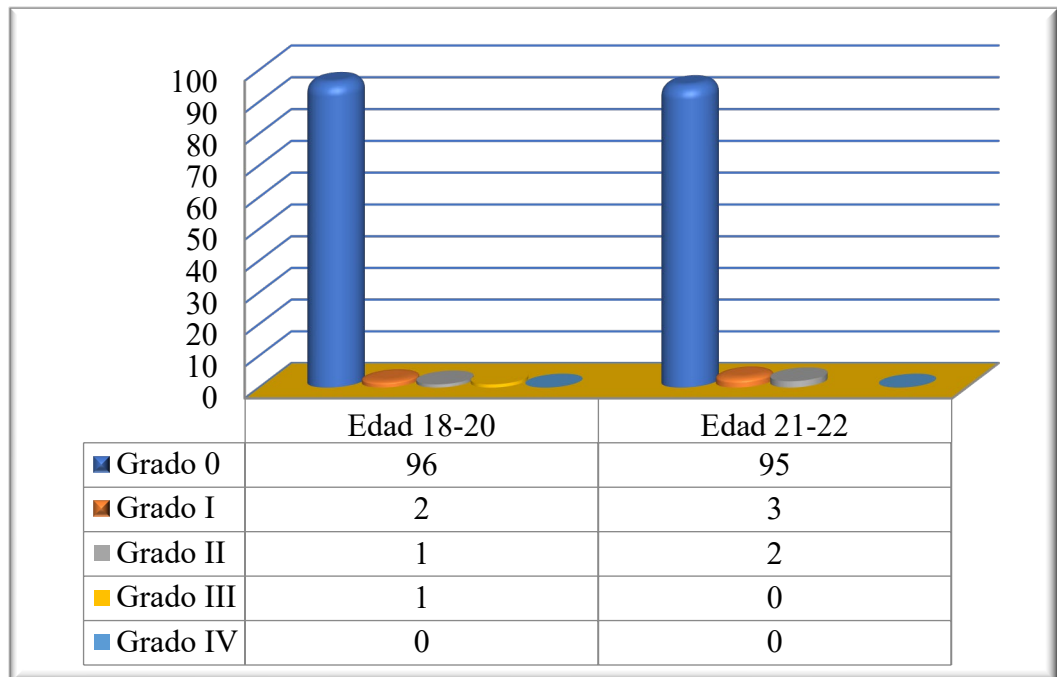
Interpretación El gráfico muestra la distribución de las alteraciones de la onda T según el grado y la edad de los soldados conscriptos evaluados. La mayoría de los soldados, tanto en el grupo de 18-20 años como en el de 21-22 años, presentaron un ECG normal (Onda T grado 0), representando 96 y 95 casos, respectivamente. Se observaron alteraciones leves (grado I) en 2 soldados del grupo más joven y 3 del grupo mayor. Las alteraciones de grado II, asociadas a cambios moderados en la onda T, afectaron a 1 individuo del grupo de 18-20 años y a 2 del grupo de 21-22 años. Solo un caso en el grupo más joven presentó alteración de grado III, mientras que no se encontraron casos de grado IV en ninguno de los grupos. Esto sugiere que las alteraciones severas son raras en esta población expuesta a la altura.

**Tabla 4. Interpretación sobre Bloqueo de Rama derecha**

Evaluación ECG	Edad 18-20	Edad 21-22
BIRD T Grado 0	SI	SI
BIRD T grado I	SI	SI
BIRD T grado II	SI	SI
BIRD T grado III	SI	SI
BIRD T grado IV	SI	SI
<b>Parámetro</b>	<b>Descripción</b>	<b>Criterios</b>

Nota: información propia

**Gráfico 4. Alteraciones encontradas. Bloqueo de Rama derecha**



Nota: información propia

Interpretación El gráfico muestra la distribución de bloqueos incompletos de rama derecha (BIRD) clasificados por grados y edades entre los soldados conscriptos. En ambos grupos etarios, la mayoría de los soldados (96 en el grupo de 18-20 años y 95 en

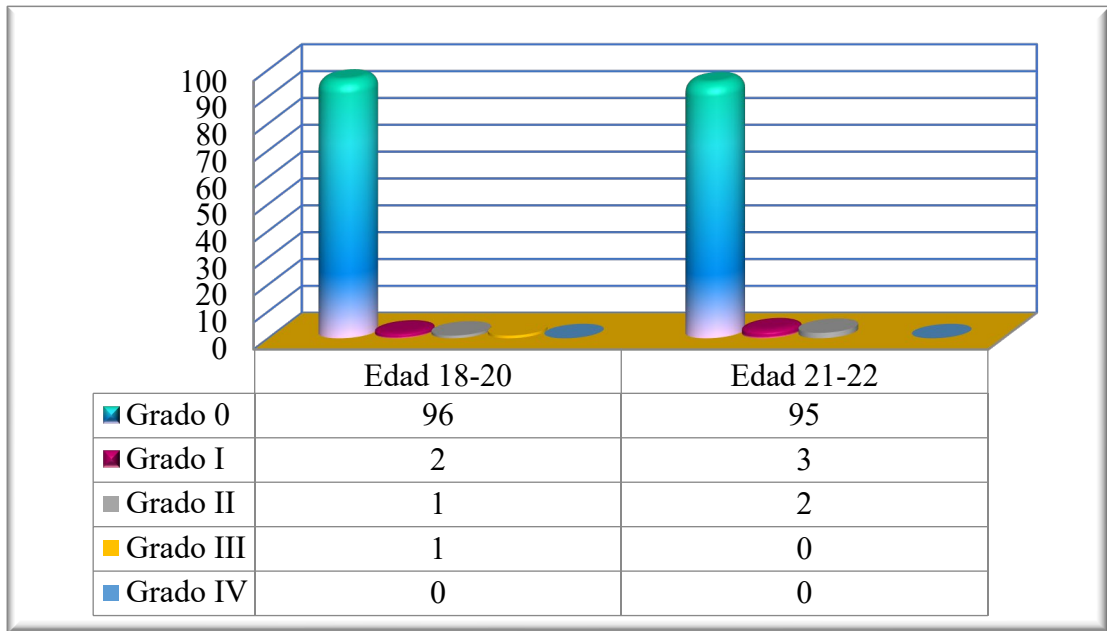
el de 21-22 años) no presentan alteraciones (Grado 0). Los casos de BIRD leve (Grado I) son más frecuentes en el grupo de 21-22 años (3 casos) en comparación con el grupo de 18-20 años (2 casos). Los bloqueos moderados (Grado II) se observaron en 1 caso del grupo más joven y en 2 casos del grupo mayor. Finalmente, solo un caso de bloqueo asociado a anomalías secundarias (Grado III) fue identificado en el grupo de 18-20 años, mientras que no se reportaron bloqueos severos (Grado IV) en ninguno de los grupos. Esto sugiere que las alteraciones severas son poco frecuentes y que la mayoría de las alteraciones identificadas corresponden a variaciones leves o moderadas.

**Tabla 5. Interpretación sobre Altura de la Onda P**

Evaluación ECG	Edad 18-20	Edad 21-22
Onda P Grado 0	SI	SI
Onda P grado I	SI	SI
Onda P grado II	SI	SI
Onda P grado III	SI	SI
Onda P grado IV	SI	SI
<b>Parámetro</b>	<b>Descripción</b>	<b>Criterios</b>

Nota: información propia

**Gráfico 5. Alteraciones encontradas Altura de la Onda P**



Nota: información propia

Interpretación El gráfico muestra la distribución Altura de la Onda P clasificados por grados y edades entre los soldados conscriptos. En ambos grupos etarios, la mayoría de los soldados (96 en el grupo de 18-20 años y 95 en el de 21-22 años) no presentan alteraciones (Grado 0). Los casos de Altura de Onda P leve (Grado I) son más frecuentes en el grupo de 21-22 años (3 casos) en comparación con el grupo de 18-20 años (2 casos). Los bloqueos moderados (Grado II) se observaron en 1 caso del grupo más joven y en 2 casos del grupo mayor. Finalmente, solo un caso de bloqueo asociado a anomalías secundarias (Grado III) fue identificado en el grupo de 18-20 años, mientras que no se reportaron bloqueos severos (Grado IV) en ninguno de los grupos. Esto sugiere que las alteraciones severas son poco frecuentes y que la mayoría de las alteraciones identificadas corresponden a variaciones leves o moderadas.

## CONCLUSIONES

- Tipo y frecuencia de alteraciones electrocardiográficas: En la población estudiada, se identificaron diversas alteraciones electrocardiográficas, siendo las más comunes aquellas relacionadas con el ritmo cardíaco, como la bradicardia y la taquicardia, así como variaciones en el intervalo QT. La frecuencia de estas alteraciones varió según el grupo de edad, pero se observó un mayor número de casos en individuos con mayor tiempo de exposición a la altura. Estos hallazgos sugieren que las condiciones de altitud pueden afectar el sistema cardiovascular, exacerbando problemas preexistentes o contribuyendo a la aparición de nuevas alteraciones, lo que subraya la importancia de realizar monitoreos regulares en estas poblaciones.
- Relación entre alteraciones electrocardiográficas y variables de salud: El análisis de la relación entre las alteraciones electrocardiográficas y variables como la edad, el tiempo de exposición a la altura, los síntomas cardiovasculares y los antecedentes familiares reveló patrones significativos. Se observó que los adultos mayores y aquellos con antecedentes familiares de enfermedades cardiovasculares tenían una mayor probabilidad de presentar alteraciones en su electrocardiograma. Asimismo, el tiempo prolongado de exposición a la altitud incrementó la frecuencia de ciertas alteraciones, lo que sugiere que la adaptación del cuerpo a la altura podría estar influenciada por factores tanto genéticos como ambientales. Estos hallazgos resaltan la necesidad de una evaluación integral de los factores de riesgo para la salud cardiovascular en poblaciones que viven o trabajan a grandes altitudes.
- Factibilidad y efectividad de la telesalud en el tamizaje de alteraciones electrocardiográficas: La telesalud demostró ser una herramienta viable y efectiva para el tamizaje de alteraciones electrocardiográficas en este contexto. Los resultados obtenidos mediante la transmisión remota de los electrocardiogramas fueron precisos y permitieron un diagnóstico temprano de las alteraciones cardíacas. La posibilidad de realizar estos monitoreos a distancia es especialmente beneficiosa en áreas rurales o de difícil acceso, donde la infraestructura de salud puede ser limitada. Además, la telesalud facilita el seguimiento continuo de los pacientes, lo que contribuye a la prevención de complicaciones graves y mejora

la calidad de vida de los individuos expuestos a condiciones extremas como la altitud.

## **RECOMENDACIONES**

- Fortalecer la implementación de telemedicina en el sistema de salud militar, asegurando la disponibilidad de equipos adecuados y capacitación continua del personal médico y técnico.
- Ampliar el monitoreo electrocardiográfico a todos los conscriptos desde su ingreso al servicio militar, estableciendo protocolos de evaluación periódica para detectar alteraciones de forma temprana.
- Desarrollar estudios longitudinales para evaluar el impacto a largo plazo de la telemedicina en la salud cardiovascular de los conscriptos, considerando factores como la exposición prolongada a la altitud.
- Integrar la telemedicina con sistemas de salud especializados, facilitando la referencia y contrarreferencia de casos detectados con anomalías para un manejo oportuno por parte de cardiólogos.
- Optimizar la conectividad y la infraestructura tecnológica, garantizando el acceso estable a plataformas de telemedicina en todas las unidades militares ubicadas en zonas de difícil acceso.
- Promover la educación en salud cardiovascular entre los conscriptos, fomentando hábitos de vida saludables y la identificación de síntomas de alerta para mejorar la prevención de enfermedades cardíacas.}
- Buscar apoyo gubernamental e institucional para garantizar la sostenibilidad del programa de telemedicina, mediante políticas de salud pública y financiamiento adecuado.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Santos-Martines L, Murrillo-Jauregui C, Poyare-Jardim CV, Gomez-Tejada R, Hoyos-Paladines R, Orzco-Levi M. Exposición crónica a la altura. Características clínicas y diagnóstico. *Rev. Cardiol Mex.* 21 Marzo 2021 [citado 10 de junio de 2024]; 91(4): 500–507. disponible. doi: 10.24875/ACM.20000447
2. Medrano PY, Castillo MÁR, Lugo MAM, Alteraciones electrocardiográficas en jóvenes atletas de alto rendimiento. *CorSalud.* 2019;11(4):296-301. Disponible: <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=95892>
3. Martínez-Ferrer A, Impacto de la hipoxia en el corazón de soldados en altura. *Arch Cardiol Mex.* 2018; 88(2):112-120.
4. Ramírez-Rivera A, Electrocardiografía en alturas: hallazgos y prevalencia. *Rev Esp Cardiol.* 2017; 70(6):502-509.
5. López-Sáez A, Efectos de la hipoxia en el sistema cardiovascular. *Rev Colomb Cardiol.* 2016; 23(3):174-181.
6. Fernández-Ruiz R, Genética y adaptación a la altura: implicaciones cardiológicas. *J Med Genet.* 2019; 56(5):315-322.
7. Sharma S. Impacto de la hipoxia en la función cardíaca en altitud. *Cardiol Rev.* 2019;27(2):120-126.
8. García-Romero V. Educación en salud cardiovascular para militares en altura. *Educación Médica.* 2018; 19(1):45-53.
9. Mendoza J. Programas de aclimatación y su efectividad en la reducción de alteraciones ECG. *Med Altit.* 2021;15(1):55-63.
10. Kdezierski K, Radziejewska J, Slawuta A, Waweznska M, Arkowski J. Telemedicine in Cardiology: Modern Technologies to Improve Cardiovascular Patients' Outcomes—A Narrative Review *Rev.MDPI* 1 de Febrero 2022 Feb; 58(2): 210. doi: 10.3390/medicina58020210
11. Andreu-Perez J, et al. Big data for health. *IEEE J Biomed Health Inform.* 2015;19(4):1193-1208.
12. Parati G, et al. Blood pressure monitoring at high altitude. *Hypertension. Rev, BMJ,* 26 de octubre 2016; 8(2): 52–53. doi: 10.1136/heartasia-2016-010814
13. Niebauer J, et al. Telemonitoring in heart failure. *J Am Coll Cardiol.* 2018;71(17):1884-1890.
14. Sánchez-Romero C, et al. Monitoreo remoto de electrocardiogramas en altura. *J Telemed Telecare.* 2021; 27(9):583-590.
15. Mallet R, Burtscher J, Richalet JP, Millet G, Butscher M. Impact of High Altitude on Cardiovascular Health: Current Perspectives. *DOVEPRESS* 17: 317–335 doi: 10.2147/VHRM.S294121
16. Bayés de Luna A, Coumel P, Leclercq JF. *Electrocardiografía clínica: texto y atlas.* 7.ª ed. Madrid: Elsevier España; 2012.
17. Surawicz B, Knilans TK. *Chou's Electrocardiography in Clinical Practice: Adult and Pediatric.* 6th ed. Philadelphia: Elsevier; 2008.

18. Braunwald E, Zipes DP, Libby P. Braunwald's Heart Disease: A Textbook of Cardiovascular Medicine. 10th ed. Philadelphia: Saunders; 2015.
19. Guyton AC, Hall JE. Tratado de fisiología médica. 13.<sup>a</sup> ed. Madrid: Elsevier; 2017.
20. West JB. Fisiología respiratoria. Fundamentos. 10<sup>a</sup> ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2016.
21. León-Velarde F, Monge CC. Human adaptation to high altitude: Mechanisms and functional consequences. *Physiol Rev.* 2004;84(1):287-318.
22. Grover RF, Reeves JT, Groves BM. Adaptation to High Altitude. In: Fregly MJ, Blatteis CM, editors. *Handbook of Physiology: Environmental Physiology*. Bethesda: American Physiological Society; 1996. p. 377-434
23. Hackett PH, Roach RC. High-altitude illness. *N Engl J Med.* 2001;345(2):107-14.
24. Mohrman DE, Heller LJ. *Cardiovascular Physiology*. 9th ed. New York: McGraw-Hill; 2018.
25. Boron WF, Boulpaep EL. *Medical Physiology*. 3rd ed. Philadelphia: Elsevier; 2016.
26. Levick JR. *An Introduction to Cardiovascular Physiology*. 6th ed. Boca Raton: CRC Press; 2018.
27. West JB. *High-altitude medicine and physiology*. 5th ed. Boca Raton: CRC Press; 2012.
28. Hackett PH, Roach RC. High-altitude illness. *N Engl J Med.* 2001;345(2):107-14.
29. Grover RF, Reeves JT, Groves BM. Adaptation to high altitude. In: Fregly MJ, Blatteis CM, editors. *Handbook of Physiology: Environmental Physiology*. Bethesda: American Physiological Society; 1996. p. 377-434.
30. Moore LG. Human genetic adaptation to high-altitude hypoxia. *Respir Physiol Neurobiol.* 2001;132(2):207-20.
31. West JB. *High-altitude medicine and physiology*. 5th ed. Boca Raton: CRC Press; 2012.
32. Grover RF, Reeves JT, Groves BM. Adaptation to high altitude. In: Fregly MJ, Blatteis CM, editors. *Handbook of Physiology: Environmental Physiology*. Bethesda: American Physiological Society; 1996. p. 377-434.
33. Hackett PH, Roach RC. High-altitude illness. *N Engl J Med.* 2001;345(2):107-14.
34. Penalzoza D, Arias-Stella J. The heart and pulmonary circulation at high altitudes: Healthy highlanders and chronic mountain sickness. *Circulation.* 2007;115(9):1132-46.
35. West JB. *High-altitude medicine and physiology*. 5th ed. Boca Raton: CRC Press; 2012.
36. Hackett PH, Roach RC. High-altitude illness. *N Engl J Med.* 2001;345(2):107-14.
37. Bärtsch P, Swenson ER. Acute high-altitude illnesses. *N Engl J Med.* 2013;368(24):2294-302.
38. Penalzoza D, Arias-Stella J. The heart and pulmonary circulation at high altitudes: Healthy highlanders and chronic mountain sickness. *Circulation.* 2007;115(9):1132-46.

39. Pritchett K, McFadden R. Cardiovascular disease risk factors in young adults: A review of the literature. *J Cardiovasc Nurs*. 2019;34(4)
40. McGowan J, et al. The relationship between military training and cardiovascular health: A review of the evidence. *Mil Med*. 2014;179(4):365-72.
41. Swenson ER, et al. Cardiovascular effects of high altitude. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 2002;282(6)
42. Tharp GD, et al. Fitness and health benefits of military service. *US Army Med Dep J*. 2015;1:19-27.
43. Bärtsch P, Swenson ER. Acute high-altitude illnesses. *N Engl J Med*. 2013;368(24):2294-302.
44. Myerburg RJ, et al. The importance of electrocardiogram screening in the management of patients with cardiovascular disease. *Am Heart J*. 2007;154(3):552-8.
45. Hwang SY, et al. Remote electrocardiogram monitoring and the management of atrial fibrillation: A systematic review. *Am J Cardiol*. 2017;120(1):1-8.
46. Dorsey ER, et al. Telemedicine in the management of chronic disease: The case for electrocardiogram monitoring. *Circulation*. 2016;133(9):805-12.
47. Atienza F, et al. Portable electrocardiogram monitoring in patients with atrial fibrillation: A review of the evidence. *J Am Coll Cardiol*. 2017;70(7):818-27.
48. Wang Y, et al. The role of telehealth in managing cardiovascular disease: A systematic review. *Am J Cardiol*. 2019;124(9):1457-62.
49. Kitsiou S, et al. Telehealth interventions for individuals with chronic conditions: A systematic review. *Telemed J E Health*. 2017;23(6):453-68.
50. Verma A, et al. Telehealth and chronic disease management: A systematic review. *Health Policy*. 2020;124(2):133-9.
51. Duenas A, et al. Use of telehealth for patients with chronic cardiovascular conditions: Systematic review. *J Telemed Telecare*. 2021;27(2):83-91.
52. Bärtsch P, Swenson ER. Acute high-altitude illnesses. *N Engl J Med*. 2013;368(24):2294-302.
53. Roach RC, Hackett PH. Acute mountain sickness: a new perspective on an old problem. *J Travel Med*. 2001;8(4):224-30.
54. Altitude Research and Training Center. Electrocardiographic changes at high altitude: a review. *High Alt Med Biol*. 2015;16(1):65-74.
55. Gunga HC, et al. Cardiac arrhythmias in humans at high altitude: how high is too high? *Int J Cardiol*. 2014;173(3):583-8.
56. West JB. *Respiratory physiology: the essentials*. 10th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2012.
57. Allemann Y, et al. Cardiovascular adaptations to exercise training in high-altitude environments. *Sports Med*. 2011;41(9):689-711.
58. Basnyat B, et al. Cardiovascular responses to high altitude. *Curr Cardiol Rep*. 2004;6(6):497-502.

59. Moya A, et al. The role of the electrocardiogram in assessing risk in athletes. *Med Sci Sports Exerc.* 2007;39(9):1557-66.
60. Juncos JP, et al. Ethical considerations in high-altitude medicine. *Wilderness Environ Med.* 2014;25(1):1-5.
61. Gatterer H, et al. Ethical aspects of medical examinations in athletes at altitude. *Br J Sports Med.* 2017;51(2):96-100.
62. Creswell JW. *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches.* 5th ed. Thousand Oaks, CA: SAGE Publications; 2018.
63. Hernández Sampieri R, Fernández Collado C, Baptista Lucio MP. *Metodología de la Investigación.* 6th ed. México D.F.: McGraw-Hill Education; 2014.
64. Polit DF, Beck CT. *Nursing Research: Generating and Assessing Evidence for Nursing Practice.* 10th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2016.
65. Ministerio de Defensa de Bolivia. Informe anual de reclutamiento y formación militar [Internet]. La Paz: Ministerio de Defensa; 2023 [citado 2024 Oct 27]. Disponible en: <http://www.mindef.gob.bo/reclutamiento>
66. Martínez-González MA, Sánchez-Villegas A, Toledo E. *Bioestadística amigable.* 2a ed. Madrid: Elsevier; 2014.

**CRONOGRAMA**

	15 de enero	30 de enero	1 de febrero	15 de febrero	28 de febrero	1 de marzo al 30 de marzo
Diseño del protocolo de investigación.						
Recolección de datos (realización de ECG, cuestionarios, revisión de registros).						
Procesamiento y análisis de los datos.						
Elaboración y presentación del informe final de investigación						

## ANEXOS

## CUESTIONARIO

Este cuestionario tiene como propósito recopilar información relevante para el estudio de alteraciones electrocardiográficas en jóvenes de 18 a 22 años que prestan al servicio militar. Por favor, responda de manera honesta y precisa. Su información será tratada de manera confidencial.

## 1. Datos personales y generales

## 1.1. Edad:

- 18 años
- 19 años
- 20 años
- 21 años
- 22 años

## 1.2. Tiempo de permanencia en el cuartel (en meses):

- Menos de 6 meses
- 6 a 12 meses
- Más de 12 meses

## 1.3. Lugar de nacimiento:

- Zona de altura (>2500 msnm)
- Zona de valle (2000-2500 msnm)
- Zona de llanura (<2000 msnm)

## 1.4. ¿Residió previamente en zonas de altura (&gt;2500 msnm) por más de 6 meses?

- Si
- No

## 2. Antecedentes médicos

## 2.1. ¿Tiene antecedentes personales de enfermedades cardiovasculares?

- Si
  - No
- Si la respuesta es "Si", especifique: \_\_\_\_\_

## 2.2. ¿Ha tenido síntomas como dolor en el pecho, palpitaciones, mareos o desmayos en los últimos 6 meses?

- Si
- No

## 2.3. ¿Ha sido diagnosticado con alguna enfermedad crónica?

- Hipertensión
- Diabetes
- Otra: \_\_\_\_\_
- No

## 2.4. ¿Tiene antecedentes familiares de enfermedades cardiovasculares (padres, hermanos)?

- Si
- No

## 3. Hábitos y estilo de vida

## 3.1. ¿Fuma o ha fumado en los últimos 6 meses?

- Si
- No

## 3.2. ¿Consume alcohol regularmente?

- Si
- No

## 3.3. ¿Realiza ejercicio físico intenso como parte de sus actividades en el cuartel?

- Si
- No

## 3.4. ¿Cuántas horas duerme al día en promedio?

- Menos de 5 horas
- 5-7 horas
- Más de 7 horas



**BOLIVIA**  
SISTEMA DE SALUD Y DEPORTES

Fecha de nacimiento: ..... / ..... / .....  
C.S. HOSPITAL: .....  
Historia Clínica Digital: .....  
Dirección: .....  
De Celular: .....

**FICHA ESPECÍFICA DE INFORMACIÓN Y CONSENTIMIENTO INFORMADO  
SERVICIO TELESALUD**

Estimado paciente, Yo, ..... con Matr. Doc. .... y C.I. .... en calidad de médico responsable del área de Telesalud en el C.S. Hospital ....., le solicito leer con detenimiento y a detalle el siguiente documento:

EL CONSENTIMIENTO INFORMADO es la potestad que usted tiene de aceptar libre, informada, voluntaria y sin presiones, su por necesidad diagnóstica o terapéutica, se practique en su cuerpo algún procedimiento clínico, imagenológico (videoconferencia, y/o telegrafías), y/o discusión diagnóstica de su caso médico.

Con este propósito, lea cuidadosamente este formulario y marque su aceptación o rechazo.

1. ¿Acepta de forma libre, voluntaria e informada la atención por el área de TELEMEDICINA y los procesos que implica los servicios de Telesalud?

ACEPTO  RECHAZO

2. ¿Da su consentimiento a someterse al interrogatorio y examen físico que permita investigar las causas de su enfermedad y realizar el seguimiento correspondiente, así como del registro de todos los datos y exámenes en una Historia Clínica Digital?

ACEPTO  RECHAZO

3. ¿Desea ser INFORMADO de todo lo que acontezca con su enfermedad?

SI  NO

4. ¿Autoriza usted a someterse al USO DE DISPOSITIVOS MÉDICOS, correspondientes al área de Telesalud, previa explicación detallada literal y gráfica de los mismos?

SI  NO  SOLO A ALGUNOS

Dispositivos médicos a utilizar (sí o no):

- ❖ Monitor de signos vitales.
- ❖ Ultrasonido.
- ❖ Cámara de examen general.
- ❖ Oftalmoscopio.
- ❖ Electrocardiografía.
- ❖ Espirómetro.
- ❖ Discoscopo.
- ❖ ~~Videocardiografía~~.

5. ¿La lectura de esta ficha ha sido acompañada de una explicación clara, detallada de la persona encargada de realizar el procedimiento?

SI  NO

6. ¿Autoriza la publicación anónima de su caso con fines educativos en redes sociales y otros medios de comunicación?

SI  NO

Nombre completo (paciente) o tutor legal: .....

Lugar Y Fecha: ..... C.I. ....

Firma y sello Médico Telesalud  Firma paciente, tutor legal o familiar responsable

"ALZANO DE LA BUENTUD HACIA EL BICENTENARIO"  
Plaza del Estudiante, Espigas, Ciudad Sucre, S/N  
Telf.: TEL. Central 2497079 - 2495886 - 2495843 - 2495833  
http://www.zamankid.com.bo - http://www.zamankid.com.bo/impresilla/

**4. Exposición a la altura**

4.1. ¿Ha experimentado algún síntoma relacionado con la altura (mareos, dolor de cabeza, fatiga)?

- SI
- NO

4.2. ¿Cuánto tiempo le tomó adaptarse a la altura?

- Menos de 1 mes
- 1-3 meses
- Más de 3 meses
- Aún no me adapto

**5. Percepción de salud cardiovascular**

5.1. ¿Ha recibido algún chequeo médico desde su ingreso al cuartel?

- SI
- NO

5.2. ¿Siente que su estado físico ha mejorado, empeorado o se ha mantenido igual desde que está en el cuartel?

- Mejorado
- Empeorado
- Igual

5.3. ¿Conoce el propósito de un electrocardiograma (ECG)?

- SI
- NO

**Nota:**

Si en algún momento experimenta síntomas que afecten su salud cardiovascular, comuníquelo de inmediato al personal médico del cuartel. Este cuestionario es parte de un estudio preventivo para cuidar su bienestar.



mdw

Nombre: EDSON FRANCO LAURA LECOÑA Registrado: 21/02/2024 11:29:38  
Número: 9256382 Registrado por:  
Genero: Hombre Procedente de Dr.:  
Fecha nacimiento 15/05/2004 19 años Médico remitente:  
Médico responsable de la a  
Lugar:  
Comentario:

INTERPRETACION NO CONFIRMADA

ritmo sinusal  
bloqueo incompleto de rama derecha  
QRS = 112 ms  
RSR en V1

P / PQ: 120 ms / 158 ms  
QRS: 112 ms  
QT / QTc / QTd: 397 ms / 409 ms / -  
Eje P/QRS/T: 0° / - / 29°  
Frec. cardíaca: 67 bpm

hallazgos de dudoso significado patológico

