

**Universidad Católica de Santa María**  
**Facultad de Medicina Humana**  
**Escuela Profesional de Medicina Humana**



**VALORES DE SATURACIÓN DE OXIGENO, HEMOGLOBINA Y HEMATOCRITO EN POBLADORES A DIFERENTES NIVELES ALTITUDINALES DE LA REGIÓN, AREQUIPA. 2022.**

Tesis presentada por los Bachilleres:

**Davila Agramonte Deyna Karem**

**Quispe Villanueva Mario Joel**

Para optar el Título Profesional de:

Médico Cirujano.

Asesor:

**Dr. Núñez Quiroz, Roberto Orlando**

**Arequipa – Perú**

**2022**

UCSM-ERP

## UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

MEDICINA HUMANA

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 12 de Mayo del 2022

Dictamen: 006285-C-EPMH-2022

Visto el borrador del expediente 006285, presentado por:

2013600472 - DAVILA AGRAMONTE DEYNA KAREM

2013248781 - QUIÑPE VILLANUEVA MARIÓ JOEL

Titulado:

**VALORES DE SATURACIÓN DE OXÍGENO, HEMOGLOBINA Y HEMATOCRITO EN POBLADORES A  
DIFERENTES NIVELES ALTITUDINALES DE LA REGIÓN, AREQUIPA. 2022.**

Nuestro dictamen es:

**APROBADO**

1301 - FARFAN DELGADO MIGUEL FERNANDO  
DICTAMINADOR



1722 - FUENTES FUENTES MARIELA HAYDEE  
DICTAMINADOR



3145 - CERVERA FARFAN LUIS ALONSO  
DICTAMINADOR



## DEDICATORIA

*Este trabajo de investigación está dedicado a mis padres, GOLDA y HERNAN que con mucho esfuerzo, amor y paciencia me han permitido alcanzar mi objetivo de ser médica, inculcándome siempre el ejemplo de valentía y perseverancia.*

*También dedico esta tesis a mis queridos hermanos Anthony, Alan y a mi abuelita Irma por ser mi motivo a seguir creciendo.*

*Y finalmente a mis maestros de la universidad que me transmitieron sus conocimientos, el respeto y amor que se tiene a la carrera.*

*Deyna Karem Davila Agramonte*

*A Dios y a la Virgen por darme la luz de la vida día a día con firmeza hasta este momento tan ansiado, anhelado y esperado para llegar a la meta trazada en estos tiempos tan difíciles en el Universo*

*A mis queridos Padres MARIO y YENNY, por su esfuerzo constante, motivándome y aplaudiendo mis fortalezas y guiándome en mis debilidades dándome la oportunidad para cristalizar y tener mi profesión anhelada.*

*Para mis Hermanos Jahn y Mayly, signo de amor, cariño y alegría de hermandad fueron la motivación para el logro de mis objetivos.*

*A mis maestros de la Universidad, compañeros de aula, amigos y a todas las personas que apoyaron de la mejor forma durante el tiempo de mi formación profesional.*

*Mario Joel Quispe Villanueva*

## AGRADECIMIENTO

*A Dios y a la Virgen por iluminar constantemente durante todo el tiempo de mi permanencia en las aulas Universitarias, con la bendición y protección del divino a seguir en el camino de mi formación profesional.*

*Agradezco eternamente a mis padres y hermanos, por su constante apoyo y hacer que este sueño se cristalice en el tiempo esperado*

*En especial agradecimiento a mis catedráticos médicos de mi alma mater UCSM, por el gran esfuerzo en impartir sus sabias enseñanzas y experiencias los cuales fortalecieron mis conocimientos en mi formación profesional.*

*Mario Joel Quispe Villanueva*

*Agradezco a Dios por otorgarme una maravillosa familia que siempre creyó en mí, que me dio ejemplos de superación, sacrificio y humildad; enseñándome a valorar lo que tengo.*

*Doy gracias también a mi alma mater la Universidad Católica de Santa María y a mis maestros médicos que con su gran sabiduría y sus ganas de transmitirme sus conocimientos me han permitido lograr importantes objetivos en mi vida como es el hecho de convertirme en médico. Gracias a mis compañeros de universidad y a mis queridos amigos por su apoyo durante mi formación. Espero contar siempre con su incondicional y valioso apoyo.*

*Deyna Karem Davila Agramonte*

## RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue determinar los valores de saturación de oxígeno, hemoglobina y hematocrito de pobladores mayores de edad residentes de diferentes niveles altitudinales de la Región Arequipa, 2022. El tipo de investigación es descriptiva observacional de cohortes y de corte transversal. La muestra de estudio estuvo constituida por 384 pobladores que residen en los diferentes pisos altitudinales de la región Arequipa, que comprenden la zona costera, zona alto costera, zona baja serrana, zona serrana y la zona altoandina y puna y que cumplieron los criterios de inclusión. Como técnica de recolección de datos se empleó la observación y el instrumento empleado fue la Guía de observación. Los resultados obtenidos muestran que el valor de saturación de oxígeno de los pobladores residentes de los diferentes niveles altitudinales de la región Arequipa es de 96,81% en la zona costera, en la zona alto costera es 92,88%, en la zona baja serrana es 94,39%, en la zona serrana es 88,31% y en la zona altoandina y puna es 89,27%. Los valores de hemoglobina son: 12,85 g/dl en la zona costera, en la zona alto costera es 13,83 g/dl, en la zona baja serrana es 14,19 g/dl, en la zona serrana es 14,90 g/dl y en la zona altoandina y puna es 14,59g/dl. Los valores de hematocrito son: en la zona costera el hematocrito promedio es de 38,70%, en la zona alto costera es 41,05%, en la zona baja serrana es 42,99%, en la zona serrana es 44,67% y en la zona altoandina y puna es 44,90%.

**Palabras clave:** saturación, oxígeno, hemoglobina, hematocrito, medicina, altura.

## ABSTRACT

The objective of the present study was to determine the values of oxygen saturation, hemoglobin and hematocrit of elderly residents of different altitude levels in the Arequipa Region, 2022. The type of research is descriptive observational of cohorts and cross-sectional. The study sample consisted of 384 inhabitants who reside in the different altitudinal floors of the Arequipa region, which include the coastal zone, high coastal zone, low mountain zone, mountain zone and the high Andean zone and puna and who met the inclusion criteria. Observation was used as a data collection technique and the instrument used was the Observation Guide. The results obtained show that the oxygen saturation value of the residents of the different altitude levels of the Arequipa region is 96.81% in the coastal zone, in the high coastal zone it is 92.88%, in the low zone highlands is 94.39%, in the highlands it is 88.31% and in the high Andean and puna areas it is 89.27%. The hemoglobin values are: 12.85 g/dl in the coastal area, in the high coastal area it is 13.83 g/dl, in the low mountain area it is 14.19 g/dl, in the mountain area it is 14, 90 g/dl and in the high Andean zone and puna it is 14.59 g/dl. The hematocrit values are: in the coastal zone the average hematocrit is 38.70%, in the high coastal zone it is 41.05%, in the low mountain zone it is 42.99%, in the mountain zone it is 44.67%. % and in the high Andean zone and puna it is 44.90%.

**Keywords:** saturation, oxygen, hemoglobin, hematocrit, medicine, altitude.

## INTRODUCCIÓN

Cuando los seres humanos se diseminaron por la Tierra, los entornos de gran altitud presentaron un desafío importante para las personas que vivían en ellos. La baja presión del aire, la hipoxia, la fuerte radiación solar y la baja temperatura ejercen una gran presión sobre la supervivencia de la población local. Los factores genéticos tanto en el genoma nuclear como en el genoma del ADN mitocondrial (ADNmt) juegan un papel importante en la adaptación a ambientes de gran altitud, lo que se consideró como impactos naturales en la evolución y adaptación humana (1). En los últimos años, un número creciente de estudios genéticos sobre el genoma nuclear han demostrado que una serie de genes han estado involucrados en la adaptación a gran altitud en los tibetanos, andinos y etíopes, estos genes se distribuyen principalmente en la vía de señalización del factor inducible por hipoxia y la vía TP53. Sin embargo, el papel del genoma del ADNmt en la adaptación a gran altitud todavía está en discusión y debería recibir más atención (2).

La vida permanente a gran altura induce importantes tensiones fisiológicas vinculadas a la exposición a la hipoxia crónica. Diversas poblaciones que viven en los Andes, el Tíbet o África Oriental han adoptado diversas estrategias. El mecanismo principal es un aumento en la producción de glóbulos rojos, más marcado en los andinos que en los tibetanos o etíopes. Se observan otros cambios en los sistemas cardiovascular o respiratorio, así como en la circulación útero-placentaria. En ocasiones, se desarrolla un proceso de desadaptación a la hipoxia, cuando la eritrocitosis se vuelve excesiva y conduce a complicaciones hematológicas, vasculares y cerebrales (enfermedad de Monge o mal de montaña crónico) (3).

Recientemente se han realizado estudios genéticos para intentar comprender mejor la evolución del genoma humano en poblaciones que viven en diversas regiones del mundo a gran altitud, así como los factores genéticos de riesgo de enfermedades crónicas. Ha aparecido un nuevo modelo, la hipoxia crónica intermitente, debido al desarrollo de actividades económicas (principalmente mineras) en las regiones desérticas del Altiplano, siendo este tipo de hipoxia un factor cardioprotector, pero cuando se mantiene a lo largo del tiempo, podría originar alteraciones asociadas al aumento del estrés oxidativo, aumento persistente de la presión arterial sistémica,

reducción de la frecuencia cardiaca, dilatación del ventrículo derecho, y aumento de triglicéridos plasmáticos (4).

En el Perú, país de 32 millones de habitantes, aproximadamente el 32% reside por encima de los 2.500 metros sobre el nivel del mar (msnm). Está situado entre los paralelos  $0^{\circ} 2'$  y  $18^{\circ} 21'34''$  de latitud sur, respecto al ecuador, al no ser el clima tan frígido, permite vivir en la altura en condiciones de hipoxia hipobárica al hombre y a otras especies animales y vegetales (5). Por lo anterior, es que resulta interesante realizar estudios para determinar los valores promedio de hemoglobina, hematocrito y saturación de oxígeno en su mayoría estudiados a nivel del mar, sin embargo, las condiciones de hábitat a nivel del mar difieren de las zonas ubicadas en pisos altitudinales mayores donde aún en nuestro medio son escasos los estudios que permitan determinar estos valores.

Por otra parte, la pandemia de la enfermedad COVID-19 reforzó esta problemática dado que en la práctica clínica se pudo observar cierta falta de consenso respecto a los niveles normales de saturación de oxígeno y además, al parecer se ha hecho un uso indiscriminado de oxigenoterapia con el consecuente riesgo de complicaciones de la misma, es por estas razones que surgió la motivación personal para el desarrollo de la presente investigación, la misma que fue efectuada en diversas localidades de la Región Arequipa, que se encuentran a diferentes pisos altitudinales, en las cuales se evaluaron a un total de 384 personas.

## ÍNDICE

DICTAMEN APROBATORIO	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
INTRODUCCIÓN	vii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO TEÓRICO	1
1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	2
1.1.Enunciado del problema	2
1.2.Descripción del problema	2
1.3. Justificación	3
2. OBJETIVOS	5
2.1.Objetivo general	5
2.2.Objetivos específicos	5
3. MARCO CONCEPTUAL	6
4. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	31
5. HIPÓTESIS	
CAPITULO II: PLANTEAMIENTO OPERACIONAL	33
1. TÉCNICAS, INSTRUMENTOS Y MATERIALES DE VERIFICACIÓN	34
1.1.Técnicas	34

1.2. Instrumentos	34
1.3. Estructura del instrumento	34
2. CAMPO DE VERIFICACIÓN	35
2.1. Ubicación espacial	35
2.2. Ubicación temporal	36
2.3. Unidades de estudio	38
3. ESTRATEGIAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	38
3.1. Organización	38
3.2. Recursos	39
3.3. Criterios para el manejo de resultados	40
CAPÍTULO III: RESULTADOS	42
3.1. Presentación de resultados	43
3.2. Discusión	54
CONCLUSIONES	57
RECOMENDACIONES	58
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
ANEXOS	65

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1	POBLADORES DE LOS DIFERENTES NIVELES ALTITUDINALES DE LA REGIÓN AREQUIPA SEGÚN CARACTERÍSTICAS GENERALES. 2022	43
TABLA 2	POBLADORES DE LOS DIFERENTES NIVELES ALTITUDINALES DE LA REGIÓN AREQUIPA SEGÚN LOCALIDAD. 2022	50
TABLA 3	POBLADORES DE LOS DIFERENTES NIVELES ALTITUDINALES DE LA REGIÓN AREQUIPA SEGÚN VALOR DE SATURACIÓN DE OXÍGENO. 2022	51
TABLA 4	POBLADORES DE LOS DIFERENTES NIVELES ALTITUDINALES DE LA REGIÓN AREQUIPA SEGÚN VALOR DE HEMOGLOBINA. 2022	52
TABLA 5	POBLADORES DE LOS DIFERENTES NIVELES ALTITUDINALES DE LA REGIÓN AREQUIPA SEGÚN VALOR DE HEMATOCRITO. 2022	53

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1	POBLADORES DE LOS DIFERENTES PISOS ALTITUDINALES SEGÚN EDAD.	45
GRÁFICO 2	POBLADORES DE LOS DIFERENTES PISOS ALTITUDINALES SEGÚN SEXO.	45
GRÁFICO 3	POBLADORES DE LOS DIFERENTES PISOS ALTITUDINALES SEGÚN SER NATIVO DE ALTURA.	46
GRÁFICO 4	POBLADORES DE LOS DIFERENTES PISOS ALTITUDINALES SEGÚN ESTADO NUTRICIONAL.	46
GRÁFICO 5	POBLADORES DE LOS DIFERENTES PISOS ALTITUDINALES SEGÚN CONSUMO DE CARNES ROJAS AL MENOS DOS VECES POR SEMANA.	47
GRÁFICO 6	POBLADORES DE LOS DIFERENTES PISOS ALTITUDINALES SEGÚN CONSUMO DE CARNE TIPO CHARQUI.	47
GRÁFICO 7	POBLADORES DE LOS DIFERENTES PISOS ALTITUDINALES SEGÚN CONSUMO DE MENESTRAS.	48
GRÁFICO 8	POBLADORES DE LOS DIFERENTES PISOS ALTITUDINALES SEGÚN ANTECEDENTES DE ENFERMEDAD PULMONAR.	48
GRÁFICO 9	POBLADORES DE LOS DIFERENTES PISOS ALTITUDINALES SEGÚN VACUNACIÓN COVID -19	49
GRÁFICO 10	POBLADORES DE LOS DIFERENTES PISOS ALTITUDINALES SEGÚN INGRESO ECONÓMICO.	49
GRÁFICO 11	POBLADORES DE LOS DIFERENTES PISOS ALTITUDINALES SEGÚN LOCALIDAD.	50
GRÁFICO 12	POBLADORES DE LOS DIFERENTES PISOS ALTITUDINALES SEGÚN VALOR DE SATURACIÓN DE OXÍGENO.	51
GRÁFICO 13	POBLADORES DE LOS DIFERENTES PISOS ALTITUDINALES SEGÚN VALOR DE HEMOGLOBINA.	52
GRÁFICO 14	POBLADORES DE LOS DIFERENTES PISOS ALTITUDINALES SEGÚN VALOR DE HEMATOCRITO.	53



# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO TEÓRICO**

## 1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. Enunciado del problema

¿Cuáles son los valores de saturación de oxígeno, hemoglobina y hematocrito de pobladores mayores de edad residentes de diferentes niveles altitudinales de la Región Arequipa, 2022?

### 1.2. Descripción del problema

#### a) Área de Intervención de Conocimiento

ÁREA GENERAL: Ciencias de la Salud.

ÁREA ESPECÍFICA: Medicina Humana.

ESPECIALIDAD: Medicina Interna.

LINEA: Fisiología de altura.

#### b) Operacionalización de Variables

VARIABLE	INDICADORES	SUBINDICADORES
<b>Variable Independiente</b>		
<b>1. Niveles altitudinales de la región Arequipa</b>	1.1. Zona costera	1.1.1. 0 – 1000 msnm
(Se refiere a la altura en metros sobre el nivel del mar de las diferentes localidades que serán incluidas en el estudio)	1.2. Zona alto costera	1.2.1. 1001 – 2000 msnm
	1.3. Zona baja serrana	1.3.1. 2001 – 3200 msnm
	1.4. Zona serrana	1.4.1. 3201 – 3800 msnm
	1.5. Zona altoandina y puna	1.5.1. 3801 a más msnm
<b>Variables dependientes</b>		
<b>2. Valores de saturación de oxígeno</b>	2.1. Valores promedio normales de saturación de oxígeno medidos por oximetría	2.1.1. Porcentaje
<b>3. Hemoglobina</b>	3.1. Valor promedio	3.1.1. g/dl
<b>4. Hematocrito</b>	4.1. Valor promedio	4.1.1. Porcentaje
<b>Variables intervinientes:</b>		
<b>1. Edad</b>	1.1. Fecha de nacimiento	1.1.1. Años
<b>2. Sexo</b>	2.1. Caracteres sexuales secundarios	2.1.1. Masculino 2.1.2. Femenino
<b>3. Nativo de altura</b>	3.1. msnm donde nació la persona	3.1.1. Si

		3.1.2. No
<b>4. Estado nutricional</b>	4.1. Peso 4.2. Talla 4.3. Índice de Masa Corporal	4.1.1. Peso bajo: menos de 18,5 4.1.2. Peso normal: 18,5 – 24,9 4.1.3. Sobrepeso: 25 – 29,9 4.1.4. Obesidad: 30 a más
<b>5. Consumo de carnes rojas al menos dos veces por semana</b>	5.1. Autorreporte	5.1.1. Si 5.1.2. No

### c) Interrogantes Básicas

¿Cuál es el valor de saturación de oxígeno en pobladores de los diferentes niveles altitudinales de la región Arequipa?

¿Cuáles son los valores de hemoglobina en pobladores de los diferentes niveles altitudinales de la región Arequipa?

¿Cuáles son los valores de hematocrito en pobladores de los diferentes niveles altitudinales de la región Arequipa?

### d) Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo descriptiva observacional de cohortes de corte transversal.

### 1.3. Justificación

La relevancia científica del estudio, se basa en que la actual pandemia de COVID-19 constituye un reto sin precedentes para los sistemas de salud a nivel mundial. Conforme la pandemia ha ido avanzando, los médicos brindan atención a más cantidad de pacientes con COVID-19 habiéndose descrito en la literatura un fenómeno conocido extraoficialmente como “hipoxemia silenciosa” o “hipoxemia feliz”, el mismo que indica una disonancia entre los valores de saturación de oxígeno en sangre y la ausencia de síntomas relacionados con la dificultad respiratoria (taquipnea o respiración rápida, disnea, tiraje intercostal, fatiga, sofocación, hambre de aire, entre otros) y sin embargo, se han presentado casos graves que tenían esta condición incluso con resultados fatales; y al contrario, en muchos casos se ha administrado oxigenoterapia a pacientes con niveles

de saturación de oxígeno de alrededor de 95% sin considerar que proceden de zonas altitudinales para las cuales son valores absolutamente normales. Estas situaciones exponen un vacío de información respecto a los valores normales de saturación de oxígeno, hemoglobina y hematocrito que sean válidos para nuestra población, por lo tanto, en base a los resultados que se obtengan, se podrá, en primer lugar, mejorar los conocimientos sobre el tema, en segundo lugar, poder contar con información útil que guíe la práctica asistencial y finalmente, en base a nuestros resultados se podrán realizar nuevos estudios de investigación.

La justificación social se basa en que hoy más que nunca es necesario que la población tenga una participación más activa en el cuidado de su salud y en la prevención de enfermedades o complicaciones de las mismas. En tal sentido, se ha descrito que, sin una medición sistemática de la saturación arterial de oxígeno, una frecuencia respiratoria normal y un estado general relativamente comfortable podrían enmascarar una hipoxemia y hacer que la evaluación pre-hospitalaria temprana del compromiso respiratorio en pacientes con infección por COVID - 19 sea aún más difícil en un entorno fuera del hospital (6).

Por lo tanto, es necesario, educar a la población respecto a la medición de la saturación arterial de oxígeno por el mismo paciente mediante el uso de pulsioxímetros en el hogar (7), con lo cual se ayudaría a detectar la hipoxemia en pacientes con COVID-19 antes de que sus condiciones progresen significativamente requiriendo niveles avanzados de atención hospitalaria, esto permitiría detectar tempranamente la hipoxemia “silenciosa” a fin de tratar oportunamente al paciente y evitar complicaciones contribuyendo a la disminución de decesos domiciliarios; por ello resulta muy necesario y útil contar con los valores hallados según los diferentes pisos altitudinales en los cuales vive la población arequipeña.

La relevancia práctica del estudio se basa en que a partir de los resultados que se obtengan se podrá contar con evidencias que sirvan como estándares de referencia en la atención de los pacientes que presenten COVID – 19 y otras patologías que requieran del manejo de situaciones que son influidas por las adaptaciones fisiológicas a la altura sobre el nivel del mar.

El interés personal se originó debido a que se ha observado que, a nivel de los hospitales de Arequipa, no se tiene información exacta sobre los valores de algunos indicadores médicos que cambian según el nivel altitudinal como es el caso de la saturación de oxígeno, hemoglobina y hematocrito de la población arequipeña que vive en distintos pisos altitudinales y por ende existe la necesidad de establecer parámetros en las variables estudiadas con fines diagnósticos.

El estudio es factible porque se cuenta con los recursos necesarios para su ejecución.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo General**

- Determinar los valores de saturación de oxígeno, hemoglobina y hematocrito de pobladores mayores de edad residentes de diferentes niveles altitudinales de la Región Arequipa, 2022.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Establecer el valor de saturación de oxígeno de los pobladores residentes de los diferentes niveles altitudinales de la región Arequipa.
- Identificar los valores de hemoglobina de los pobladores residentes de los diferentes niveles altitudinales de la región Arequipa.
- Establecer los valores de hematocrito de los pobladores residentes de los diferentes niveles altitudinales de la región Arequipa.

### 3. MARCO CONCEPTUAL

#### 3.1. Generalidades

En el estudio de las respuestas y adaptaciones del organismo a la altura, las variables hemoglobina (Hb), hematocrito (HCT) y saturación arterial de oxígeno (SaO<sub>2</sub>) se han investigado en los diferentes niveles altitudinales principalmente a nivel del mar y a alturas por encima de los 2600 msnm, debido a su gran contribución en el estudio y comprensión del aporte de oxígeno hacia los tejidos con disminución de la presión barométrica a medida que se asciende en altitud (8).

La disminución en la presión barométrica causa un descenso en la presión parcial del oxígeno generando hipoxia, es por ello que ante estos cambios el organismo activa sistemas de compensación para mantener la homeostasis, como por ejemplo incrementar la concentración de hemoglobina [Hb] y el hematocrito (HCT) (9). Estas respuestas varían de acuerdo al tiempo de exposición a la hipoxia ambiental, clasificándose en respuestas agudas a crónicas; además de que contribuyen a la aclimatación a la altura, la hemoglobina y el hematocrito son considerados criterio diagnóstico de anemia; siendo la más común la anemia por deficiencia de hierro que es considerada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como el mayor desorden nutricional en todo el mundo (10). La OMS, estableció unos límites para diagnosticar la severidad de la anemia, así, por ejemplo, la anemia leve puede variar de 11g/dl a 10g/dl en hombres y mujeres respectivamente, y la anemia grave en valores menores a 8 g/dl en ambos géneros, estos valores sin embargo no son diferenciados por alturas y se aplican para toda la población. Los valores promedio pueden variar entre poblaciones que, aunque residen a la misma altura presentan diferentes concentraciones de Hb y HTC, como es el caso de las poblaciones reconocidas como habitantes de grandes alturas que son los tibetanos y andinos (Perú y Bolivia) (11). Estas diferencias podrían generar errores en el diagnóstico de anemia donde lo más probable es que haya ocurrido aclimatación o adaptación a la altura (11).

#### 3.2. Saturación de oxígeno

Una vez que el oxígeno ha difundido desde los alvéolos hacia la sangre pulmonar, es transportado hacia los capilares de los tejidos periféricos combinado casi totalmente con la hemoglobina. La presencia de hemoglobina en los eritrocitos permite que la sangre

transporte de 30 a 100 veces más oxígeno de lo que podría transportar en forma de oxígeno disuelto en el agua de la sangre; en las células de los tejidos corporales el oxígeno reacciona con varios nutrientes para formar grandes cantidades de dióxido de carbono, este entra en los capilares tisulares y es transportado de nuevo hacia los pulmones y se combina en la sangre con sustancias químicas que aumentan de 15 a 20 veces el transporte del dióxido de carbono (12, 13).

La oximetría es un método válido y que se emplea mucho en la práctica clínica. La técnica de la oximetría permite la determinación de la saturación arterial de oxígeno (SaO<sub>2</sub>), de manera no invasiva, basándose en el hecho de que la respiración transcutánea guarda relación con las tendencias de los gases arteriales, aunque a otros niveles (70-80% más bajo para la presión de oxígeno y entre un 140-160% más alto para el anhídrido carbónico) (12). La epidermis es una capa no vascular de células, de un espesor cercano a las 100 micras, formado por varios estratos, entre ellos el estrato externo y el córneo están formado por filamentos de queratina con una matriz de lípidos y proteínas no fibrosas, que limita relativamente la difusión gaseosa a través de la piel (12).

La piel recibe el flujo sanguíneo de los vasos perforantes del tejido graso subcutáneo y músculo, formándose dos plexos vasculares intercomunicados entre sí. Un plexo vascular profundo localizado a nivel de la unión dermo-hipodérmica y un plexo vascular superficial localizado en la porción alta de la dermis reticular desde el cual salen las asas capilares que se distribuyen en la dermis papilar, estas funcionan de modo tal que la difusión de los gases a través de este sistema provoca un proceso por el que el oxígeno es elevado a la zona más alta de la papila, y el CO<sub>2</sub> se dirige hacia la base, donde se encuentra en mayor concentración. Cuando la superficie de la piel es sometida a 41°C, aquella experimenta una modificación lipídica tal, que éstos se transforman de sólido a líquido, facilitándose la difusión de gases a través de la piel (12).

La oximetría es un método espectrofotométrico de transiluminación, cuyo fundamento científico se basa en dos principios físicos: (13)

- La presencia de un rastro pulsátil que se origina en la sangre arterial, independiente de la sangre capilar, venosa y otros tejidos (13).
- La propiedad de la hemoglobina que cuenta con diferentes espectros de absorción según su estado sea oxigenado o reducido. Esta propiedad define que una concentración de un soluto, en una solución, se puede determinar haciendo pasar

una luz, con una longitud de onda conocida, a través de dicha solución, midiendo la luz incidente y la transmitida (13).

La ley física aplicada en este instrumento es la ley de Lambert-Beer, la que indica que la intensidad de luz que es transmitida por un cuerpo es igual a la intensidad de luz que incide multiplicada por una variable. Su formulación matemática es la indicada a continuación: (12)

$$I = I' \times e$$

(cda)

Si en la solución están presentes varios solutos, “e” es la suma de ecuaciones similares para cada soluto. Para que se pueda aplicar la ley de Beer-Lambert hay que asumir determinadas condiciones, que no son aplicables en el medio clínico. Es por esto que los instrumentos de pulsioximetría requieren de correcciones empíricas a las que se llega mediante aplicación de la técnica a grandes poblaciones de individuos sanos, gracias a lo cual se consigue un algoritmo con el que el microprocesador del aparato interpreta la información obtenida (12).

La oximetría es un método espectrofotométrico de transiluminación, con el cual determinamos la saturación del oxígeno en función de la determinación del nivel de absorción de luces rojas que se hacen incidir sobre la hemoglobina. Es decir, está basado en la conocida propiedad de la hemoglobina de presentar diferentes espectros de absorción, según que sea su estado (oxigenado o reducido). Los oxímetros de pulso corrientes presentan predominantemente dos longitudes de onda de luz en especial: 660nm en luz roja y entre 800-940 nm en región infrarroja (12, 13).

En longitudes de onda menores a 600 nm (luz roja) se observa un destello importante. Por debajo de 600 nm, el reflejo disminuye raudamente transformando la hemoglobina en transparente (13). En dichas longitudes de onda, la absorción aumenta de forma inversamente proporcional al nivel de saturación en oxígeno de la hemoglobina. Por lo tanto, en este rango de longitudes de onda, la relación entre saturación y absorción mantienen una relación de tipo lineal. Longitudes de onda cercanas a los 940 nm (que son ondas cercanas al espectro infrarrojo) presentan una relación inversamente proporcional

entre oxihemoglobina y hemoglobina desaturada, ya que en este caso la oxihemoglobina resulta más absorbente que la hemoglobina desaturada (12).

La determinación de la saturación de oxígeno se consigue comparando los porcentajes de hemoglobina arterial saturada con oxígeno en los 600 nm (luz roja) con las medidas en longitudes de onda de 940 nm (luz infrarroja). Este método se basa en el principio de transmisión y reflexión (12). En el procedimiento de reflexión, la fuente de luz y la fotocélula se encuentran en el mismo lugar de la muestra o tejido a medir. En ambos métodos, tanto el basado en la transmisión como en el basado en la reflexión, resulta necesario registrar simultáneamente el valor de la Hb (variable con el llenado vascular), ya que los cambios del volumen sanguíneo influyen en la absorción de luz roja y simulan cambios de saturación. La medida de la saturación de oxígeno arterial (SaO<sub>2</sub>) es de 95% con límites de confianza de  $\pm 4\%$  hasta valores de SaO<sub>2</sub> cercanos al 70%. La precisión tiende a descender cuando la SaO<sub>2</sub> es inferior al 70%, probablemente debido a la dificultad de calibrar en condiciones de hipoxia grave. Es decir, cuando mide 95% puede representar una PaO<sub>2</sub> de 60 (saturación del 91%) o de 160 (saturación de 99%) (12). En cuanto a la estructura del oxímetro, ésta está formada por un detector fotoeléctrico y unos diodos electroluminiscentes y debe de contar con una pantalla frontal de monitorización, un sensor de pinza para dedo u oreja, memoria de datos, sensores adhesivos universales, y alarmas indicadoras de: frecuencia cardiaca, de nivel de saturación de oxígeno, del estado de carga de la batería, de desconexión de sensores; actualmente, los electrodos son algo más pequeños y están especialmente diseñados para captar sobre diferentes lugares de la superficie cutánea como los dedos (los más frecuentes), el lóbulo de la oreja u otras zonas de la piel, gracias a que los mismos están formados por dos elementos separados y además, estos electrodos son capaces de medir y registrar gráficamente de forma continua, durante horas, la saturación de la hemoglobina (12).

### **3.3. Hemoglobina**

#### **3.3.1. Función de la hemoglobina en el transporte del oxígeno**

En condiciones normales aproximadamente el 97% del oxígeno que se transporta desde los pulmones a los tejidos es transportado en combinación química con la hemoglobina de los eritrocitos. El 3% restante se transporta en estado disuelto en el agua del plasma y de las células de la sangre. En condiciones normales el oxígeno es transportado hacia los tejidos casi totalmente por la hemoglobina (13).

### **3.3.2. Combinación reversible del oxígeno con la hemoglobina**

La conformación química de la hemoglobina permite que la molécula de oxígeno se combine de manera laxa y reversible con la porción hemo de la hemoglobina y cuando la  $P_{O_2}$  es elevada, como en los capilares pulmonares, el oxígeno se une a la hemoglobina, pero cuando la  $PO_2$  es baja, como en los capilares tisulares, el oxígeno se libera de la hemoglobina; esta es la base de casi todo el transporte del oxígeno desde los pulmones hacia los tejidos (13).

La curva de disociación oxígeno-hemoglobina, que demuestra un aumento progresivo del porcentaje de hemoglobina unida al oxígeno a medida que aumenta la  $PO_2$  sanguínea, lo que se denomina saturación porcentual de hemoglobina. Como la sangre que sale de los pulmones y entra en las arterias sistémicas habitualmente tiene una  $PO_2$  de aproximadamente 95 mmHg, en la curva de disociación se aprecia que la saturación de oxígeno habitual de la sangre arterial sistémica es en promedio del 97%. Por el contrario, en la sangre venosa que vuelve desde los tejidos periféricos la  $PO_2$  es de aproximadamente 40 mmHg, y la saturación de la hemoglobina es en promedio del 75% (13).

### **3.3.3. Cantidad máxima de oxígeno que se puede combinar con la hemoglobina de la sangre**

La sangre de una persona normal contiene 15 g de hemoglobina por cada 100 ml de sangre, y cada gramo de hemoglobina se puede unir a un máximo de 1,34 ml de oxígeno aproximadamente (1,39 ml cuando la hemoglobina es pura; las impurezas, como la metahemoglobina, reducen esta cantidad); por ende,  $15 \times 1,34$  es igual a 20,1, lo que significa que, en promedio, los 15 g de hemoglobina de 100 ml de sangre se pueden combinar con un total de aproximadamente 20 ml de oxígeno si la hemoglobina está saturada al 100%, esto habitualmente se expresa como 20 volúmenes por ciento y es por este motivo que la curva de disociación oxígeno-hemoglobina de una persona normal se puede expresar también en forma de volumen porcentual de oxígeno, en lugar de la saturación porcentual de la hemoglobina (13).

### 3.3.4. Cantidad de oxígeno que libera la hemoglobina cuando la sangre arterial sistémica fluye a través de los tejidos

La cantidad de oxígeno unido a la hemoglobina en la sangre arterial sistémica normal, que tiene una saturación del 97%, es de aproximadamente 19,4 ml por cada 100 ml de sangre. Cuando atraviesa los capilares tisulares esta cantidad suele reducirse en promedio a 14,4 ml ( $P_{O_2}$  de 40 mmHg, hemoglobina saturada en un 75%). Así, en condiciones normales se transportan aproximadamente 5 ml de oxígeno desde los pulmones a los tejidos por cada 100 ml de flujo sanguíneo. Aunque la hemoglobina es necesaria para el transporte del oxígeno hacia los tejidos, realiza otra función esencial para la vida. Esta es su función como sistema «amortiguador tisular de oxígeno». Es decir, la hemoglobina de la sangre es el principal responsable de estabilizar la presión de oxígeno en los tejidos (13).

Cuando la concentración atmosférica de oxígeno se modifica mucho, el efecto amortiguador de la hemoglobina sigue manteniendo una  $P_{O_2}$  tisular casi constante, siendo la  $P_{O_2}$  normal de los alvéolos 104 mmHg, pero cuando se sube una montaña o se sube en un avión la  $P_{O_2}$  puede disminuir fácilmente a un valor menor de la mitad de esta cantidad. Por otro lado, cuando se entra en zonas de aire comprimido, como la profundidad del mar o cámaras presurizadas, la  $P_{O_2}$  puede aumentar hasta 10 veces este valor, incluso en estos casos la  $P_{O_2}$  tisular cambia poco; en la curva de disociación oxígeno-hemoglobina se puede ver que cuando la  $P_{O_2}$  alveolar disminuye hasta un valor tan bajo como 60 mmHg la hemoglobina de la arteria sigue saturada con oxígeno en un 89%, sólo un 8% por debajo de la saturación normal del 97%; además, los tejidos siguen extrayendo aproximadamente 5 ml de oxígeno por cada 100 ml de sangre que atraviesa los tejidos; para extraer este oxígeno la  $P_{O_2}$  de la sangre venosa disminuye hasta 35 mmHg, sólo 5 mmHg por debajo del valor normal de 40 mmHg. Así, la  $P_{O_2}$  tisular apenas se modifica, a pesar de la marcada reducción de la  $P_{O_2}$  alveolar desde 104 hasta 60 mmHg (13).

Por el contrario, cuando la  $P_{O_2}$  alveolar aumenta hasta un valor tan elevado como 500 mmHg, la saturación de oxígeno máxima de la hemoglobina nunca puede aumentar por encima del 100%, que es sólo un 3% por encima del nivel normal del 97%. Una pequeña cantidad de oxígeno adicional se disuelve en el líquido de la sangre. Después, cuando la sangre atraviesa los capilares tisulares y cede a los tejidos varios mililitros de oxígeno, esto reduce la  $P_{O_2}$  de la sangre capilar a un valor sólo algunos mmHg mayor que los 40

mmHg normales. Por tanto, la concentración del oxígeno alveolar puede variar mucho (desde 60 a más de 500 mmHg de  $PO_2$ ) y a pesar de todo la  $PO_2$  de los tejidos periféricos no varía más de algunos mmHg desde el valor normal, lo que demuestra claramente la función de «amortiguador de oxígeno» tisular del sistema de la hemoglobina sanguínea (13).

### **3.3.5. La respiración crónica de cantidades bajas de oxígeno estimula aún más la respiración: el fenómeno de «aclimatación»**

Los escaladores de montañas han observado que cuando escalan lentamente una montaña, a lo largo de un período de días y no de un período de horas, respiran con una profundidad mucho mayor y, por tanto, pueden soportar concentraciones atmosféricas de oxígeno mucho menores que cuando ascienden rápidamente. Esto se denomina aclimatación. La razón de la aclimatación es que, en un plazo de dos a tres días, el centro respiratorio del tronco encefálico pierde aproximadamente cuatro quintos de su sensibilidad a las modificaciones de la  $PCO_2$  y de los iones hidrógeno. Por tanto, deja de producirse la eliminación excesiva de dióxido de carbono con la ventilación que normalmente inhibiría el aumento de la respiración, y el oxígeno bajo puede activar el sistema respiratorio hasta un nivel mucho mayor de ventilación alveolar que en condiciones agudas. A diferencia del aumento del 70% de la ventilación que podría producirse después de la exposición aguda a un oxígeno bajo, la ventilación alveolar con frecuencia aumenta entre el 400 y el 500% después de 2 a 3 días de oxígeno bajo; esto contribuye mucho a aportar oxígeno adicional al escalador de montaña (13).

### **3.3.6. Efectos de la baja presión de oxígeno en el organismo**

Al nivel del mar la presión barométrica es de 760 mmHg, a 3.048 m es de sólo 523 mmHg y a 15.240 m es de 87 mmHg. Esta disminución de la presión barométrica es la principal causa de todos los problemas de hipoxia en la fisiología de las grandes alturas porque, a medida que disminuye la presión barométrica, la presión parcial de oxígeno atmosférica disminuye de manera proporcional, permaneciendo en todo momento algo por debajo del 21% de la presión barométrica total: la  $PO_2$  al nivel del mar es de aproximadamente 159 mmHg, pero a 15.240 m es de sólo 18 mmHg (13).

La  $PO_2$  alveolar a distintas alturas: El dióxido de carbono y el vapor de agua reducen el oxígeno alveolar, incluso a alturas elevadas el dióxido de carbono se excreta

continuamente desde la sangre pulmonar hacia los alvéolos. Además, el agua se evapora en el aire inspirado desde las superficies respiratorias. Estos dos gases diluyen el oxígeno de los alvéolos, reduciendo de esta manera la concentración de oxígeno. La presión del vapor de agua de los alvéolos permanece en 47 mmHg siempre que la temperatura corporal sea normal, independientemente de la altura. En el caso del dióxido de carbono, durante la exposición a alturas muy grandes la  $PCO_2$  alveolar disminuye desde el valor que hay al nivel del mar de 40 mmHg a valores menores. En la persona aclimatada, que aumenta su ventilación aproximadamente cinco veces, la  $PCO_2$  disminuye hasta aproximadamente 7 mmHg debido al aumento de la respiración (13).

Al nivel del mar la  $PO_2$  alveolar es de 104 mmHg; a 6.100 m de altura disminuye hasta aproximadamente 40 mmHg en la persona no aclimatada, aunque sólo a 53 mmHg en la persona aclimatada. La diferencia entre estos dos valores es que la ventilación alveolar aumenta mucho más en la persona aclimatada que en la persona no aclimatada. Hasta una altura de aproximadamente 3.048 msnm, incluso cuando se respira aire, la saturación arterial de oxígeno permanece al menos tan elevada como el 90%. Por encima de 3.048 msnm la saturación de oxígeno arterial disminuye rápidamente, hasta que es ligeramente menor del 70% a 6.100 msnm y mucho menor a alturas todavía mayores (13).

Aclimatación a una  $PO_2$  baja: Una persona que permanece a alturas elevadas durante días, semanas o años se aclimata cada vez más a la  $PO_2$  baja, de modo que produce menos efectos adversos sobre el cuerpo, y es posible que la persona trabaje más sin los efectos de la hipoxia o ascienda a alturas todavía mayores. Los principales mecanismos mediante los cuales se produce la aclimatación son: 1) un gran aumento de la ventilación pulmonar; 2) un aumento del número de eritrocitos; 3) un aumento de la capacidad de difusión pulmonar; 4) un aumento de la vascularización de los tejidos periféricos, y 5) un aumento de la capacidad de las células tisulares de utilizar el oxígeno a pesar de una  $PO_2$  baja (13).

A diferencia de los nativos andinos, los tibetanos de gran altitud presentan una concentración de hemoglobina más baja que se correlaciona con el éxito reproductivo y la capacidad de ejercicio. Décadas de investigación fisiológica y genómica han asumido que la menor concentración de hemoglobina en los nativos del Himalaya resulta de una respuesta eritropoyética embotada a la hipoxia (es decir, sin aumento en la masa total de hemoglobina). En contraste, la menor concentración de hemoglobina es el resultado de un mayor volumen de plasma, en lugar de una ausencia de una mayor producción de

hemoglobina. La masa de hemoglobina es más alta en los andinos, pero también es elevada en los sherpas en comparación con los habitantes de las tierras bajas. Se ha demostrado un mayor volumen de plasma en las comunidades andinas, lo que resulta en un volumen de sangre total comparable a una concentración de hemoglobina más baja. La masa de hemoglobina se relaciona positivamente con la capacidad de ejercicio en los habitantes de las tierras bajas al nivel del mar y en los sherpas a gran altura, pero no en los nativos andinos. La concentración de hemoglobina es una característica definitoria en las manifestaciones diferenciales de adaptación entre los andinos y tibetanos de gran altitud (14). Los tibetanos demuestran una concentración de hemoglobina que sería comparable a los residentes del nivel del mar; la concentración más baja se asocia con un mayor éxito reproductivo y capacidad de ejercicio (15).

Las exploraciones genómicas de polimorfismos han detectado fuertes señales de barrido selectivo en tibetanos en 2 loci, EGLIN1 y EPAS 1. Sin embargo, un estudio reciente de tibetanos no encontró evidencia clara de adaptación poligénica para concentraciones bajas de hemoglobina (14), cuestionando si la concentración de hemoglobina es verdaderamente el objetivo de la selección, o simplemente una consecuencia o componente del verdadero rasgo adaptativo, como se propuso anteriormente. El estudio de Jeong et al. encontraron una adaptación poligénica para una frecuencia cardíaca más baja en las mujeres tibetanas que también se asoció con un mayor éxito reproductivo. Sin embargo, es poco probable que la frecuencia cardíaca, per se, sea el objetivo de la selección natural; más bien, es más probable que se haya seleccionado la adaptación hematológica o el efecto posterior sobre la función cardiovascular y la capacidad cardiorrespiratoria (14).

Se ha asumido ampliamente que la concentración más baja de hemoglobina en las personas que viven a mayores alturas, se logra a través de la ausencia de una respuesta eritropoyética significativa a la hipoxia (16). Sin embargo, esta simplificación excesiva ignora la contribución igualmente importante del volumen plasmático en la regulación del hematocrito (17). Un volumen plasmático mayor disminuiría la concentración de hemoglobina y podría disminuir la frecuencia cardíaca al mediar un volumen sistólico mayor, pero la importancia de estas medidas volumétricas se ha ignorado en gran medida. Por lo tanto, existe la hipótesis de que la menor concentración de hemoglobina es una consecuencia de una mayor masa de hemoglobina y un mayor volumen de plasma. Tal fenómeno permitiría a los tibetanos y andinos maximizar la capacidad total de transporte

de oxígeno de la sangre sin el efecto perjudicial de una alta viscosidad en el flujo sanguíneo microcirculatorio. La evidencia de eritrocitosis en las comunidades de gran altitud está enmascarada por la expansión del volumen plasmático (16).

### **3.4. Hematocrito**

Es la porción de volumen de la sangre que es ocupada por la masa de eritrocitos. Además de expresarse en porcentaje, puede hacer, según el Sistema Internacional de Unidades, como una fracción decimal, donde la unidad (L/L) está implícita; así, 42% de hematocrito es lo mismo que 0,42 L/L. El hematocrito indica la concentración de los eritrocitos, pero no la masa total de ellos (13).

La exposición aguda a la altitud ocasiona el incremento del Hematocrito principalmente por la modificación del volumen plasmático, mientras que la exposición prolongada genera una respuesta que tiende a incrementar la cantidad de glóbulos rojos (GR) como una forma de adaptación a la hipoxia. Probablemente la hipoxia favorezca a una respuesta adecuada en la producción de GR implicada con la disponibilidad de hierro. El incremento del hematocrito muestra correlación lineal con la disminución de la PO<sub>2</sub>. El número de GR es una consecuencia del incremento en la producción de EPO, que además estimula la expresión de enzimas glicolíticas, de transportadores de membrana de glucosa e inhibe la apoptosis de los GR (18).

Se ha asumido que el cambio en la entrega de oxígeno al tejido renal es el factor clave para la producción de EPO en la altitud, aún no confirmada en estudios humanos. La entrega de oxígeno al riñón está regulada no sólo por el flujo sanguíneo renal y por el contenido arterial de oxígeno, sino que además depende del gasto cardiaco, de la afinidad de la Hb por el oxígeno, de la diferencia entre el contenido y la utilización del oxígeno por las células renales, lo cual no necesariamente está relacionado con la saturación arterial de oxígeno (19). Los mecanismos genéticos adaptativos en diferentes poblaciones del Himalaya, tiene mayor efecto en la respuesta ventilatoria y menos consecuencias en el hematocrito, a diferencia de las poblaciones estudiadas en los Andes (20).

### **3.5. Infección por SARS CoV 2**

### 3.5.1. Definición

La infección por SARS CoV 2 se denominó COVID - 19 que un acrónimo de "enfermedad por coronavirus 2019" causada por el nuevo CoV, un virus muy contagioso que se ha propagado rápidamente por todo el mundo, esta enfermedad causada por el virus SARS CoV2 fue declarada como Pandemia por la Organización Mundial de la Salud el día 11 de marzo del 2020, fecha en que los casos de COVID-19 aumentaron mucho involucrando a numerosos países y causando muchas muertes (21).

### 3.5.2. Etiología

Los CoV pertenecen a una gran familia de virus de ARN monocatenario (+ssRNA) que se segregan de varias especies de animales (Perlman y Netland 2009). Los CoV aparecieron en forma de corona derivados de coronam, un término latino que significa corona, ya que su envoltura contiene picos de glicoproteínas y son virus de ARN de cadena positiva. La subfamilia Orthocoronavirinae de Coronaviridae; orden Nidovirales, se categoriza en cuatro géneros: 1 (Alphacoronavirus: alphaCoV), 2 (Betacoronavirus: betaCoV), 3 (Deltacoronavirus: deltaCoV) y 4 (Gammacoronavirus: gammaCoV). Las fuentes genéticas probables de los dos primeros géneros son de murciélagos y roedores y los dos últimos de especies de aves. Además, el género betaCoV se divide en otros cinco subgéneros/linajes (22).

Su genoma tiene ~30.000 nucleótidos y tiene forma elíptica/redonda y frecuentemente pleomórfica con diámetro de unos 60-140 nm con 5' Cap y 3' cola poli (A), al menos seis ORF constituyen el genoma y los subgenomas de un CoV representativo y los primeros ORF (ORF1a/b), que codifican 16 proteínas no estructurales (nsp1-16), excepto el Gammacoronavirus que carece de nsp1, representan 2/3 de la longitud total del genoma. Hay un cambio de marco (-1) entre ORF1a que conduce a la producción de pp1a, mientras que ORF1b es responsable de la producción del polipéptido pp1ab; más tarde, estos polipéptidos se procesan a través de una o dos proteasas similares a papaína codificadas viralmente, proteasa similar a quimotripsina (3CLpro) y/o proteasa principal (Mpro) en 16 nsps y los ORF restantes ubicados en 1/3 del genoma cerca del extremo 3' codifica no menos de cuatro proteínas estructurales principales {proteínas de punta (S), envoltura (E), membrana (M) y nucleocápside (N)}. (22).

Los virus mencionados pueden superar fácilmente las barreras de las especies además de causar muchas enfermedades en humanos que van desde el "resfriado común" hasta enfermedades muy graves como MERS y SARS, por razones desconocidas (23). Lo más probable es que estos virus se hayan originado de murciélagos a huéspedes mamíferos alternativos, como el SARS-CoV por la civeta de las palmeras del Himalaya, y el MERS-CoV a través del camello dromedario, antes de saltar a los humanos; sin embargo, la dinámica del "SARS-CoV-2" se descifró lentamente y hasta la actualidad la teoría más aceptada es aquella que explica su origen animal, dado que los análisis genómicos sugieren que el SARS-CoV-2 posiblemente evolucionó a partir de una cepa presente en los murciélagos por ende la mutación en la cepa original puede haber activado directamente la virulencia hacia los humanos, además la alta capacidad de este virus para convertirse en una pandemia mundial conlleva un grave riesgo para la salud pública, ya que este virus se propaga más rápido que sus dos antepasados, es decir, el SARS-CoV y el MERS-CoV (23).

### **3.5.3. Manifestaciones clínicas**

El principal síntoma de los pacientes hospitalizados con COVID-19 es la neumonía y los síntomas más comunes causados por la infección por SARS-CoV-2 incluyen fiebre, tos y dificultad para respirar; en algunos casos, también puede haber pérdida o disminución del olfato y del gusto, escalofríos, dolor de garganta, dolor de cabeza, astenia, diarrea o vómitos, también se han observado diversas lesiones en la piel, el tórax o los dedos de las manos y los pies, generalmente en niños y adolescentes sin otros síntomas, por otra parte, se ha informado que el período de incubación del virus oscila entre 1 y 14 días (21). Además, la mayoría de las personas infectadas pueden mostrar síntomas dentro de los 12 días posteriores a la infección. Se transmite por gotitas respiratorias que se liberan cuando alguien con el virus tose, estornuda o habla. Si una persona toca una superficie donde está presente el virus y luego se toca la boca, la nariz o los ojos, también es muy posible que se infecte (21).

La infección puede volverse grave y provocar una enfermedad grave con dificultad para respirar y síntomas de dolor torácico intenso, lo que provoca neumonía.; algunos de los signos más prominentes de esta neumonía incluyen niveles reducidos de oxígeno, dificultad para respirar, respiración rápida y dolorosa, niveles alterados de gases en sangre y cambios pulmonares visibles a través de radiografías o tomografías de tórax (21).

En cuanto a las características sociodemográficas de los pacientes con COVID-19, un estudio chino citado por (21). En pacientes hospitalizados con COVID19, principalmente de Wuhan, China, **describen** su edad **media en 50 años** y un ligero predominio del sexo masculino. **Además, alrededor del 25% de estos** pacientes **tuvieron** complicaciones graves y **requirieron** cuidados intensivos, de los **cuales** casi el 10% **requirió** ventilación mecánica. Las personas con afecciones subyacentes, como diabetes, enfermedades cardíacas, obesidad, cáncer y enfermedades renales, independientemente de su edad, tienen un mayor riesgo de **enfermarse gravemente por el COVID19** (21).

Además, se debe tener en cuenta la posibilidad de transmisión interhumana durante el período asintomático. En este sentido, se ha planteado la posibilidad de que los niños, que normalmente presentan un cuadro subclínico o síntomas más leves, puedan propagar la infección al resto de la comunidad. A pesar de que han transcurrido dos años desde el inicio de la pandemia, muchas preguntas siguen siendo inciertas sobre la facilidad de propagación del nuevo SARS-CoV-2, pero al igual que otros virus respiratorios, parece que su principal vía de transmisión es la vía aérea de las secreciones (gotitas) de las personas infectadas. Otras posibles vías en estudio son la contaminación ambiental y la vía fecal-oral. El valor  $R_0$ , que en el caso del nuevo coronavirus oscila entre 1,4 y 6,47, estima el número de casos secundarios que se producen en una población susceptible a partir de un individuo infectado, y se considera que un  $R_0 > 1$  permite la propagación de la epidemia (21).

Uno de los aspectos que mayor interés ha concitado es la duración de la enfermedad, por lo que es importante considerarla en relación con la sintomatología, porque a pesar de que esta pueda variar, el tiempo medio desde el comienzo clínico hasta la recuperación en la enfermedad leve es de dos semanas, mientras que en los casos graves puede prolongarse hasta las 3-6, también es importante conocer que entre el tiempo de inicio de los síntomas leves hasta el de los graves (como la hipoxemia o la disnea) suele ser de una semana, y de dos a ocho hasta el fallecimiento (24). Hay también un grupo de pacientes en quienes los síntomas persisten por tiempos variables luego de la recuperación inicial, siendo este cuadro conocido como COVID persistente o COVID largo (25).

Un estudio refiere que la proporción de pacientes asintomáticos es de alrededor del 40 al 45% de las infecciones por SARS-CoV-2 y a su vez, estas personas pueden transmitir el virus a otras personas durante un periodo prolongado, que al parecer es mayor a 14 días

(26). Con el paso del tiempo, se han realizado numerosos estudios en todo el mundo, los cuales arrojan resultados acerca de los síntomas que se presentan durante el curso de la enfermedad, los mismos que son múltiples y con diferentes porcentajes de presentación, pero con todo ello, los más frecuentes son la fiebre, tos seca o productiva, la disnea, el dolor de garganta o la astenia. Otros síntomas frecuentes que acompañan a los anteriores incluyen escalofríos, las náuseas o vómitos, congestión nasal, diarrea, hemoptisis, la hiposmia-anosmia, la hipogeusia-disgeusia y la congestión conjuntival (27, 28). En el momento del ingreso la clínica es similar, donde destacan la fiebre, tos y la astenia, y en casos más graves la disnea (29).

Además de los síntomas descritos, se han identificado otros que afectan distintos órganos y sistemas, entre ellos destacan:

- **Cardiológicos:** en orden de frecuencia se tiene a las palpitaciones, que se pueden relacionar con el fallo cardiaco o la miocarditis aguda, a veces en ausencia de síntomas respiratorios o fiebre (30).
- **Neurológicos:** la mayoría se vincula con el mareo y alteración del nivel de conciencia. Menos frecuentes son los fenómenos cerebrovasculares, neuralgias o epilepsia (30).
- **Hematológicos:** se ha descrito mayor incidencia de sangrados, mayor presencia de fenómenos trombóticos asociados a infarto cerebral, isquemia cardiaca, muerte súbita, embolismo pulmonar o trombosis venosa profunda (30).
- **Oftalmológicos:** además de la congestión conjuntival, se observa ojo seco, visión borrosa y sensación de cuerpo extraño (30).
- **Otorrinolaringológicos:** las alteraciones más frecuentes son las del gusto y olfato síntomas que predicen la presencia de enfermedad (entre un 5% y el 65% de los casos), otros como el dolor facial, obstrucción nasal o el dolor de garganta son frecuentes (30).
- **Dermatológicos:** se han descrito variedad de lesiones como aquellas que van desde el típico rash hasta erupciones vesiculosas. En los dedos de manos y pies se ha encontrado lesiones acrocianóticas parcheadas, en ocasiones con ampollas. Estas lesiones se parecen a la perniosis siendo más frecuentes en niños y adolescentes (30).

### 3.5.4. Diagnóstico de la COVID – 19

Según refieren Villar y cols (29), en la enfermedad por COVID-19 se puede presentar una “tormenta de citoquinas” que hacen que se presenten fenómenos de inflamación, trombosis, daño tisular y a un peor pronóstico de las personas con sepsis. El estudio de Zhou F y cols, (30) reportó linfopenia, elevación de los niveles de dímero D, troponina I cardiaca de alta sensibilidad, ferritina sérica, lactato deshidrogenasa (LDH) e interleucina (IL)-6 en fases más avanzadas de la enfermedad. Además, se ha encontrado elevación de la proteína C reactiva (PCR), la velocidad de sedimentación globular (VSG) o la creatina kinasa (CPK), la presencia de anemia, neutrofilia y de alteraciones de las enzimas hepáticas. Muchas de estas alteraciones se han considerado marcadores pronósticos de gravedad y mortalidad. Otro elemento importante para el diagnóstico es la imagen radiológica, la cual constituye una herramienta fundamental tanto para el diagnóstico como para el seguimiento de la enfermedad. los hallazgos en la radiografía de tórax muestran típicamente un patrón intersticial o consolidaciones bilaterales o multilobulares de predominio en bases pulmonares (29). En la TC pulmonar se han reportado una amplia variedad de hallazgos, sin embargo, existe consenso en que la principal característica de la neumonía por COVID-19 es la presencia de opacidades en vidrio deslustrado o esmerilado con una distribución periférica y subpleural típica; la afectación bilateral y de múltiples lóbulos, particularmente los lóbulos inferiores, se observa en la mayoría de los pacientes, estas opacidades se pueden mezclar con áreas de consolidación focal, asociadas o no con reticulaciones intralobulillares superpuestas, lo que resulta en un patrón en empedrado (crazy paving pattern); además, las consolidaciones lineales y otros signos que sugieren neumonía organizada, como el signo del halo inverso (es decir, áreas de vidrio esmerilado rodeadas por consolidación periférica), son también frecuentes y los cambios que se observan dependiendo de la gravedad de la enfermedad son las lesiones que varían en casos leves con afectación de menos de un 10% del parénquima pulmonar, hasta la aparición de un “pulmón blanco” en los casos graves (31).

En la ecografía torácica se observa un patrón intersticial difuso, con predominio de líneas B, infiltrados subpleurales bilaterales inferiores y posteriores y disminución del flujo sanguíneo, y un patrón tisular, con una zona anterior con líneas A (normales) y zona posterior con consolidaciones (31). Los pacientes con COVID-19 grave cumplen con frecuencia los criterios para el síndrome de SDRA, la mayoría tienen linfopenia y algunos padecen trastornos del sistema nervioso central o periférico; en la enfermedad grave se

encuentran lesiones cardíacas, renales y hepáticas agudas, además de arritmias cardíacas, rhabdomiólisis, coagulopatía y shock, lo que hace que estos fallos multiorgánicos suelen estar asociados a la respuesta inflamatoria excesiva ya señalada (29).

Debido a la alta prevalencia de la COVID-19 en determinados momentos o entornos que pueden conllevar a condicionar el diagnóstico, lo más importante será realizar una buena historia clínica, poniendo especial atención a los datos epidemiológicos, los cuales resultan claves para establecer el diagnóstico con certeza, más allá de las determinaciones analíticas o las pruebas de imagen (29).

### 3.5.5. Clasificación de la severidad

La Organización Mundial de la Salud ha indicado diferentes escenarios de manejo de la COVID-19 según su gravedad, y clasifica la enfermedad en: a) neumonía leve; b) grave, si la neumonía se acompaña de fiebre, taquipnea, dificultad respiratoria y/o saturación de oxígeno < 90%; c) dificultad respiratoria aguda, si los síntomas respiratorios empeoran y se observan opacidades o nódulos bilaterales o edema pulmonar en la radiografía de tórax; d) sepsis, cuando también están presentes signos de disfunción orgánica; y, e) shock séptico, el escenario más severo (24).

La enfermedad COVID – 19 presenta tres etapas de gravedad creciente, estos incluyen:

- **Etapa I (leve o infección temprana):** se inicia desde el momento de la inoculación y el establecimiento temprano de la enfermedad, en la mayoría de enfermos representa un periodo de incubación asociado con síntomas leves y a menudo inespecíficos, como malestar general, fiebre y tos seca. La infección suele presentarse con síntomas respiratorios y sistémicos leves. El hemograma puede revelar linfopenia y neutrofilia sin otras anomalías significativas (32).
- **Etapa II (moderada o afectación pulmonar [IIa] sin y [IIb] con hipoxia):** la multiplicación viral y la inflamación localizada en el pulmón causan una neumonía viral, con tos, fiebre y posiblemente hipoxia. Las imágenes muestran infiltrados bilaterales u opacidades en vidrio esmerilado y en los exámenes de sangre se observa mayor linfopenia, junto con incremento de las transaminasas. Los marcadores de inflamación sistémica pueden empezar a elevarse (32).
- **Etapa III (grave o hiperinflamación sistémica):** este estadio se caracteriza por un síndrome de hiperinflamación sistémica extrapulmonar y los marcadores de

inflamación sistémica parecen estar elevados (IL-2, IL-6, IL-7, factor estimulante de colonias de granulocitos, proteína inflamatoria de macrófagos 1-a, factor de necrosis tumoral-a, PCR, ferritina y dímero D, troponina y péptido natriurético de tipo B N-terminal). En esta etapa puede acontecer el SDRA, el síndrome de respuesta inflamatoria sistémica (SRIS), shock, insuficiencia respiratoria e incluso el fallo cardiopulmonar y la muerte (32).

Además, se han descrito tres fases de la COVID-19 en pacientes sintomáticos: en primer lugar, se experimentan síntomas y signos clínicos como malestar general, fiebre y tos seca; luego el compromiso pulmonar, con o sin hipoxia, ocurre en diferentes grados de severidad; finalmente, se produce una inflamación sistémica extrapulmonar; durante el transcurso de la COVID-19 se observan cambios en las pruebas de hemostasia, como alargamiento de protrombina y activación de tiempos parciales de tromboplastina, así como aumento de los niveles de dímero D y cuando el estado del paciente empeora debido a la COVID-19, los niveles de dímero D aumentan y se forman microtrombos en los vasos sanguíneos periféricos (21).

### **3.5.6. Tratamiento**

Los tratamientos que se emplean para la COVID – 19, varían para los pacientes sospechosos (que deben aislarse ante el inicio de signos compatibles) y confirmados con signos clínicos que empeoran (que deben trasladarse a los establecimientos de salud u hospitales). La necesidad básica es mantener la hidratación, la nutrición y controlar la fiebre y la tos (33, 34). Considerando la necesidad, se debe administrar oxigenoterapia, por medio de catéter nasal, Terapia de Oxígeno Nasal de Alto Flujo (HFNO), Ventilación No Invasiva (NIV), oxígeno con mascarilla u Oxigenación por Membrana Extracorpórea (ECMO) (33). Anteriormente, no se recomendaba ninguna vacuna o cura antiviral particular para el COVID-19, sin embargo, se debe evitar el uso de antibióticos y antivirales en casos confirmados (23, 33). Se requieren antibióticos y antimicóticos si ocurren coinfecciones (34). Varios medicamentos antivirales como oseltamivir, ganciclovir y lopinavirritonavir, lopinavir/ritonavir, inhibidores de la neuraminidasa, análogos de nucleósidos, abidol, péptido (EK1), inhibidores de la síntesis de ARN (TDF, 3TC), agentes antiinflamatorios como las hormonas y medicinas tradicionales chinas (Lianhuaqingwen Capsule y ShuFengJieDu) (34, 35). Remdesivir, así como la

cloroquina, el arbidol, un fármaco antiviral presente en China y Rusia, los interferones, la inmunoglobulina intravenosa y el plasma de pacientes recuperados de COVID-19, pueden proponerse como terapia después de más evidencias de eficacia y seguridad (34). Actualmente, se han administrado en muchos países del mundo diferentes vacunas, a saber, Moderna, Pfizer-BioNTEC, Johnson & Johnson/Janssen (Sinovac) Sinopharm/Beijing, Sputnik V y Oxford/AstraZeneca (36).

### **3.6. Mal de altura**

#### **3.6.1. Concepto**

El mal de altura (MA), también llamado Síndrome de Mal de Altura (SMA) es un síndrome neurológico caracterizado por síntomas inespecíficos (cefalea, náusea, fatiga y mareo) con escasos hallazgos físicos que aparecen 6 a 12 h después de ascender a un sitio de altura elevada, por este motivo se debe distinguir entre SMA y agotamiento, deshidratación, hipotermia, resaca alcohólica e hiponatremia; se ha postulado que el SMA y el edema pulmonar por grandes alturas (HACE) representan los extremos opuestos de un espectro continuo de trastornos neurológicos relacionados con las alturas (37). El mal de altura, es una característica común del ascenso a la altura, que afecta al 25% de las personas que ascienden a altitudes moderadas (2000–3000 msnm) y hasta al 58% de las personas a 4500 msnm, además la velocidad de ascenso también juega un papel clave en la prevalencia de mal de altura, con perfiles de ascenso rápido en ascensos superiores a los 5000 msnm, que dan como resultado una incidencia de hasta el 75%; finalmente la susceptibilidad individual es otro determinante importante, ya que las personas que viven habitualmente a alturas mayores, así como los residentes de zonas montañosas tienden a sufrir menos mal de altura (38).

Los factores de riesgo más importantes para el desarrollo de mal de las alturas son la velocidad de ascenso y el antecedente de enfermedades de grandes alturas y uno de los factores de riesgo más importantes para el desarrollo del MA es el esfuerzo que se realiza para el ascenso más no así la falta de condición física, por eso se ha planteado una interesante hipótesis que postula que el SMA se presenta en personas que tienen poca capacidad cefalorraquídea para amortiguar la congestión cerebral que se produce al ascender a las grandes alturas, mientras que un factor protector en el SMA es la exposición a grandes alturas durante un tiempo de dos meses previos; sin embargo, para comprobar esta hipótesis es necesario mayor investigación (37). Parece que los niños y

los adultos se afectan por igual, sin embargo, en las personas mayores de 50 años, parece que el riesgo de tener SMA es menor que en los jóvenes. Tampoco se ha encontrado diferencias de géneros en la incidencia de SMA. La desaturación durante el sueño (un fenómeno frecuente en grandes alturas) se relaciona con el SMA. Una condición extrema asociada con el SMA es la muerte súbita que se presenta en los montañistas, la cual en la mayoría de casos se debe a la fatiga debilitante que es compatible con el SMA grave (37).

### 3.6.2. Fisiopatología

Cuando la persona asciende a una altura elevada somete al cuerpo a una disminución de la presión barométrica lo que causa la disminución de la presión parcial de oxígeno del gas inspirado en los pulmones. Este cambio ocasiona que haya una menor presión para dirigir la difusión de oxígeno de los alvéolos a toda la cascada de oxígeno. La “respuesta de lucha” inicial normal ante tal ascenso incluye el aumento de la ventilación, la que constituye la piedra angular para que se desarrolle el proceso de aclimatación. La hiperventilación origina que se produzca alcalosis respiratoria y deshidratación. La primera deprime el impulso ventilatorio durante el sueño, y en consecuencia existe respiración periódica e hipoxemia. Durante las primeras etapas de la aclimatación, el organismo enfrenta la alcalosis mediante la supresión renal de anhidrasa carbónica y la excreción de orina alcalina diluida lo cual produce la elevación del pH sanguíneo a un valor normal (37).

Otros cambios fisiológicos que se producen durante la aclimatación normal incluyen aumento del tono simpático, aumento de las concentraciones de eritropoyetina, la misma que produce el aumento del valor de hemoglobina y masa eritrocítica; aumento de la densidad capilar y en el número de mitocondrias; y mayores concentraciones de 2,3-bifosfoglicerato, todo lo cual permite que se optimice el aprovechamiento de oxígeno. Pero, incluso con la aclimatación normal, el ascenso a grandes alturas disminuye la tolerancia máxima al ejercicio y aumenta la susceptibilidad a las lesiones por frío por la vasoconstricción periférica. Además, si el ascenso es más rápido que la respuesta corporal de adaptación al estrés de la hipoxemia hipobárica, se producen estados patológicos relacionados con la altura (37).

Se desconocen los mecanismos exactos que provocan estos síndromes, pero hasta la actualidad las teorías más aceptadas postulan un proceso del sistema nervioso central. Mediante estudios efectuados con resonancia magnética se ha sugerido que el edema

cerebral vasógeno (intersticial) es el principal componente de la fisiopatología del MA y el HACE. Los hallazgos por resonancia de las enfermedades de grandes alturas, confirman la presencia de HACE, con más signos en la materia blanca y en particular en el rodete o esplenio del cuerpo caloso, además se encuentra que la hipoxia se relaciona con edema cerebral vasógeno leve independiente del SMA. El edema vasógeno puede convertirse en citotóxico (intracelular) en los casos graves de HACE (37).

La alteración en la autorregulación cerebral en presencia de vasodilatación cerebral hipóxica y el trastorno de la permeabilidad en la barrera hematoencefálica por mediadores químicos inducidos por la hipoxia como la histamina, el ácido araquidónico y el factor de crecimiento endotelial vascular (VEGF, vascular endothelial growth factor) contribuyen en conjunto al edema cerebral. En el año 1995, el VEGF se propuso por primera vez como un potente promotor de fuga capilar en el cerebro en grandes alturas, y estudios con modelos murinos realizados posteriormente han confirmado su participación. A pesar de que los estudios preliminares acerca del VEGF en los escaladores han tenido resultados poco claros que no han demostrado una relación con el mal de las alturas, existen pruebas indirectas de que este factor de crecimiento es importante en el SMA y el HACE, y provienen de la observación de que cuando se usa dexametasona para prevenir y tratar el SMA y el HACE, bloquea la liberación hipóxica del VEGF. Otros factores en el desarrollo de edema cerebral podrían ser la liberación de óxido nítrico mediado por calcio y adenosina mediada por un mecanismo neuronal, lo cual favorece la vasodilatación cerebral (37, 39).

El aumento en la actividad simpática provocado por la hipoxia también apoya a la fuga de la barrera hematoencefálica. En los casos de SMA más grave se ha observado un aumento del diámetro de la vaina del nervio óptico y esto parece indicar que el aumento de la presión intracraneal tiene una función fundamental en la fisiopatología del SMA. Finalmente, no está muy claro aún el efecto de la hipoxia en las especies reactivas del oxígeno y su función en el SMA clínico (37).

Aún falta descubrir la fisiopatología del síntoma más frecuente y prominente del SMA (cefalea) porque el cerebro en sí es un órgano insensible; sólo las meninges contienen fibras nerviosas sensoriales trigeminales. La causa de la cefalea por grandes alturas es multifactorial; varios factores químicos y mecánicos activan una vía común final, el sistema trigeminovascular. En el origen de la cefalea por grandes alturas, la respuesta a

los antiinflamatorios no esteroideos (AINES) y a los glucocorticoides aporta un indicio indirecto de la afectación de la vía del ácido araquidónico y de la inflamación. La International Headache Society admite que las grandes alturas pueden desencadenar migraña; no obstante, no está del todo claro si la cefalea por grandes alturas y la migraña comparten la misma fisiopatología. Sin embargo, el uso de sumatriptán (50 mg por vía oral dentro de la primera hora del ascenso) evita el SMA (37, 39).

### **3.6.3. Manifestaciones clínicas**

El síntoma principal del mal de altura es la cefalea, la misma que se suele asociar con trastornos del sueño, fatiga, mareo e inestabilidad, náuseas y anorexia. El insomnio es el segundo síntoma más frecuente tras la cefalea y se da en al menos el 60% de las personas que ascienden a 3.500 msnm. El sueño no reparador puede ser secundario a un síndrome de respiración periódica que interrumpe su arquitectura mediante un patrón respiratorio alternante hipoxia-hiperventilación-hipocapnia, aunque otros factores como la propia cefalea y la fatiga pueden favorecerlo. En algunas personas se presenta el síncope por altitud, el mismo que obedece a fenómenos vasovagales producidos por la hipoxia, pero en algunas ocasiones también se debe a la presencia de arritmias (39).

### **3.6.4. Prevención y tratamiento**

La forma más adecuada y eficaz para prevenir el mal de las alturas es realizar el ascenso de forma gradual, dando un tiempo adecuado para que se produzca la aclimatación (39). Las recomendaciones indican que después de los 3 000 metros, el ascenso sea  $\leq 300$  m de la altura a la que se pernoctó el día anterior, y cada tercer día de ascenso en dicha altura, ha de tomar un día extra de descanso para aclimatarse, es recomendable también pasar una noche a una altura intermedia antes de continuar ascendiendo a altitud mayor, lo que favorece la aclimatación y disminuye el riesgo de SMA; es por ello, que a los viajeros que van a lugares de altura, se les sugiere que tengan un itinerario flexible que les permita tener días de reposo adicionales, lo que es de mucha ayuda, pero, por lo general, en la actividad turística o viajes por trabajo, esto no ocurre, de ahí que la incidencia del SMA entre los viajeros sea alta (37, 39). Es necesario que las personas que permanecen en sitios de gran altura tengan conocimiento de los síntomas del mal de las alturas a efectos de que puedan reconocerlos oportunamente, además se les debe indicar que no es recomendable que asciendan a alturas mayores si presentan los síntomas, asimismo, cuando se presenta cualquier indicio de HAPE o de HACE es obligatorio el descenso (39).

En las personas que van a viajar a grandes alturas está justificado el uso de la profilaxis farmacológica, sobre todo cuando se tiene antecedente previo de SMA o cuando no existen la facilidad de realizar el ascenso de forma gradual para dar tiempo al proceso de aclimatación. La acetazolamida en dosis de 125 a 250 mg dos veces al día administrada el día previo al ascenso y continuada durante dos o tres días es eficaz y casi siempre no es necesario el uso de dosis más altas. Entre los efectos secundarios que se presentan con frecuencia destacan la parestesia y la sensación de hormigueo. También es eficaz la dexametasona (8 mg/d en dosis divididas) (37, 39).

En los casos de SMA leve, el tratamiento más indicado es el reposo y analgésicos (37,39). En el caso de SMA moderado se recomienda descenso y administración de acetazolamida y oxígeno cuando está disponible, con el sólo hecho de descender de 400 a 500 m, se favorece la mejoría de los síntomas. Para el SMA moderado o el HACE incipiente es muy eficaz la administración de dexametasona (8 mg por vía oral o parenteral), pero en el caso del HACE, el descenso inmediato es obligatorio, sin embargo, cuando debido a condiciones climáticas u otras, no es posible el descenso se deberá administrar dexametasona, para “ganar tiempo”, el nifedipino y los inhibidores de la fosfodiesterasa 5 no son eficaces en el tratamiento del SMA y el HACE (37).

### **3.7. Mal de Montaña Crónico o Enfermedad de Monge**

#### **3.7.1. Definición**

El peruano Carlos Monge realizó en 1925 la primera descripción de poliglobulia en un nativo de los Andes, confirmando posteriormente dicho hallazgo en otros andinos. Actualmente, el Mal de Montaña Crónico (MMC) o Enfermedad de Monge, se define como un síndrome clínico que acontece en residentes de estancia muy larga a gran altitud ( $> 2.500$  msnm), caracterizándose por una eritrocitosis e hipoxemia excesiva con hipertensión pulmonar moderada a grave que provoca corazón pulmonar (cor pulmonale) o insuficiencia cardíaca sin presencia de patología pulmonar y así este trastorno que fue descrito por primera vez en Perú, también se ha documentado en Colorado y en la población china Han en el Tíbet (40). El MMC incluye distintos signos y síntomas tales como cefalea, desórdenes neurológicos, alteraciones durante el sueño, astenia, disnea y alteraciones digestivas (40).

La Enfermedad de Monge, es importante no sólo por su gran prevalencia en las poblaciones de altura, sino también porque muchas veces resulta incapacitante y potencialmente fatal debida al cor pulmonale e insuficiencia cardiaca asociadas (41). En cuanto a la prevalencia se ha encontrado que es de 5.2% en La Paz (Bolivia) y entre el 14.8 y 18.2% en Cerro de Pasco (Perú); en Lasha se estimaron cifras de 2.24 a 8.7% y de 1.21% en Qinghai (Tibet en China) y de 5.57% entre el grupo étnico de los Han (situados en China) (39).

### **3.7.2. Fisiopatología**

En la ECM no hay lesiones pulmonares, siendo la hipoventilación el mecanismo primario de esta enfermedad. La hipoventilación es la consecuencia del compromiso central de la ventilación por hipoxia cerebral crónica, la alteración en la relación ventilación/perfusión y la ventilación ineficiente; se ha postulado la siguiente secuencia fisiopatológica como responsable de la patogénesis de esta enfermedad: hipoventilación - hipoxemia - eritrocitosis excesiva – ECM; asimismo, la profunda hipoxemia que se desarrolla durante el sueño, también es considerada como un factor importante en la acentuación de la hipoventilación y en la disminución de la saturación en sangre arterial en la altura y por ende en la aparición de la eritrocitosis excesiva (40, 41).

Entre los factores de riesgo asociados al MMC, se encuentran que diferentes estados patológicos podrían estar implicados en su patogénesis, destacando la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), el síndrome de apnea e hipopnea asociada al sueño (SAHOS) y la obesidad (40, 41).

### **3.7.3. Signos y síntomas**

En los pobladores de zonas andinas de Perú y Bolivia se observa un síndrome respiratorio de hipoventilación alveolar que se caracteriza por severa hipoxemia e hipoventilación con hipercapnia, el mismo que se acompaña de eritrocitosis excesiva ( $Hb > 19$  g/dl en mujeres y  $Hb > 21$  g/dl en varones), HP moderada a severa y evolución potencial a cor pulmonale con insuficiencia cardiaca congestiva. La diferencia del MMC con otras enfermedades asociadas a la altura, pero agudas, es la eritrocitosis excesiva (41).

Entre los síntomas destacan la cefalea, mareos, tinnitus, disnea, palpitaciones, pérdida del apetito, tolerancia al ejercicio disminuida, parestesias y enrojecimiento de palmas y plantas de los pies, fatiga física y mental, concentración mental deteriorada, alteraciones

del sueño, dolor muscular y de articulaciones, casi siempre, estas manifestaciones suelen revertirse cuando la persona se traslada a nivel del mar, pero la sintomatología vuelve a presentarse cuando la persona regresa a mayor altura (41).

Los signos del MMC, incluyen la eritrocitosis excesiva, hipoxemia severa, cianosis localizada, dilataciones venosas, acropaquia (dedos en palillo de tambor) en manos y pies, incremento de la tensión arterial diastólica (asociado a la eritrocitosis). Auscultación del segundo ruido pulmonar aumentado (2P) y soplo mesosistólico eyectivo; así también pueden presentarse signos moderados de insuficiencia cardíaca y coexistir con hipertensión pulmonar (41).

#### **3.7.4. Diagnóstico**

El diagnóstico del MMC además de estar basado en la anamnesis donde destaca el antecedente de vivir en zona de altura (condición indispensable), también se basa en la evaluación clínico – laboratorio y en la realización de algunos estudios complementarios que incluyen la radiografía de tórax, en la cual destacan los hallazgos de cardiomegalia; prominencia de la arteria pulmonar en el borde cardíaco izquierdo, y acentuación de las marcas vasculares en el centro y periferia de los campos pulmonares. En el electrocardiograma se pueden encontrar ondas P en pico en DII, DIII, aVF; rotación del eje de QRS hacia la derecha; patrón rS en precordiales derechas, y ondas T negativas en precordiales derechas, debida a sobrecarga del VD (41).

En las pruebas de función respiratoria se encuentra que en la forma clásica o primaria del MMC deben observarse pruebas normales y se deben excluir otras causas secundarias de hipoxemia como determinantes de eritrocitosis: EPOC, fibrosis quística, EPI, bronquiectasias, trastornos del dormir, etc (41).

Para establecer la gravedad del MMC, se utiliza la Escala de gravedad Qinghai del Mal de montaña crónico (42), la misma que evalúa la severidad de esta dolencia, se utiliza también para fines de comparación entre casos individuales de MMC y los que ocurren entre países. La severidad del MMC puede ser definido de acuerdo con la suma de puntos dados a cada síntoma y a la Hb: ausente 0-5 puntos, leve 6-10 puntos, moderado 11-14 puntos y severo >15 puntos. En la siguiente tabla se muestra la escala (42).

**Tabla 1. Escala de Qinghai para mal de montaña crónico**

Falta de aliento y/o palpitaciones	0 No, 1 Leve, 2 Moderada, 3 Severa
Trastornos del sueño	0 Dormir usual, 1 No duerme como lo usual, 2 Despierta muchas veces/sueño nocturno pobre, 3 No puede dormir nada
Cianosis	0 No, 1 Leve, 2 Moderada, 3 Severa
Dilatación de las venas	0 No, 1 Leve, 2 Moderada, 3 Severa
Parestesias	0 No, 1 Leve, 2 Moderada, 3 Severa
Cefalea	0 No, 1 Leve, 2 Moderada, 3 Severa
Tinnitus	0 No, 1 Leve, 2 Moderada, 3 Severa
Hemoglobina	Masculino: 0 > 18 g < 21 g/dl 3 ≥ 21 g/dl Femenino: 0 > 16 g < 19 g/dl 3 ≥ 19 g/dl

**Fuente:** León-Velarde, et al. 2005 (42).

### 3.7.5. Tratamiento

La migración a una altura menor (< 1500 msnm) resuelve el mal de montaña crónico, esta medida puede ser particularmente útil en las personas que debido a otras comorbilidades o complicaciones del MMC como la insuficiencia cardiaca, no deberían permanecer viviendo en zonas de altura. El tratamiento consiste en la administración de oxígeno hasta conseguir una SaO<sub>2</sub> >80 %, con el fin de evitar que se preserve la eritrocitosis excesiva. El tratamiento definitivo es fijar una nueva residencia en un lugar de preferencia cercano al nivel del mar, y en caso de que esto no sea posible, se deben practicar sangrías con frecuencia y la administración de acetazolamida a dosis de 250 mg/d durante dos períodos de 12 semanas, cada uno de los cuales logra disminuir el Hematocrito de un promedio de 69% al 64% y aumentar la PaO<sub>2</sub> de 42 mm Hg a 45 mm Hg al final del primer período, manteniéndose en el segundo (42). El pronóstico del MMC depende si la persona se muda a vivir a nivel del mar, lo cual resuelve el proceso, pero si continúan viviendo en la altura y no se adoptan medidas de tratamiento y prevención como el uso de acetazolamida, la persona puede fallecer por hemorragia del Sistema Nervioso Central (42).

## 4. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

### 4.1. Internacionales

- **Autor:** Richalet, JP. (3)

**Título:** Adaptation to chronic hypoxaemia by populations living at high altitude. (3)

**Resumen:** En esta revisión señalan que la vida permanente a gran altura induce importantes tensiones fisiológicas vinculadas a la exposición a la hipoxia crónica. Diversas poblaciones han adoptado diversas estrategias que viven en los Andes, el Tíbet o África Oriental. El mecanismo principal es un aumento en la producción de glóbulos rojos, más marcado en los andinos que en los tibetanos o etíopes. Se observan otros cambios en los sistemas cardiovascular o respiratorio, así como en la circulación útero-placentaria. En ocasiones, se desarrolla un proceso de desadaptación a la hipoxia, cuando la eritrocitosis se vuelve excesiva y conduce a complicaciones hematológicas, vasculares y cerebrales (enfermedad de Monge o mal de montaña crónico). También puede aparecer hipertensión pulmonar (3).

- **Autor:** Stembridge, M., WillisMA, A., Gasho, C., Dawkins, T., Drane, A. (16)

**Título:** The overlooked significance of plasma volume for successful adaptation to high altitude in Sherpa and Andean natives. (16)

**Resumen:** El objetivo del estudio fue determinar como la menor concentración de hemoglobina es el resultado de un mayor volumen de plasma, en lugar de una ausencia de una mayor producción de hemoglobina. Para ello se evaluó la masa de hemoglobina, el volumen de plasma y el volumen de sangre en los habitantes de las tierras bajas al nivel del mar, los habitantes de las tierras bajas aclimatados a gran altitud, los sherpa del Himalaya y el quechua andino, y exploraron la relevancia funcional de las medidas hematológicas volumétricas para la capacidad de ejercicio. Resultados: La masa de hemoglobina fue más alta en los andinos (3800 msnm), pero también fue elevada en los sherpas (5300 msnm) en comparación con los habitantes de las tierras bajas. Los Sherpas tuvieron un mayor volumen de plasma que los andinos, lo que resultó en un volumen de sangre total comparable a una concentración de hemoglobina más baja. La masa de hemoglobina se relacionó positivamente con la capacidad de ejercicio en los habitantes de las tierras bajas a nivel del mar y en los sherpas a gran altura, pero no en los nativos

andinos. En conjunto, los hallazgos de este estudio demuestran una adaptación única en Sherpa que reorienta la atención lejos de la concentración de hemoglobina y hacia un paradigma donde la masa de hemoglobina y el volumen de plasma pueden representar fenotipos con significado adaptativo a gran altura (16).

#### 4.2. Nacionales

- **Autor:** Escobar, C. (43)

**Título:** Saturación de oxígeno en mujeres en edad fértil a más de 3600 msnm, Castrovirreyna – Huancavelica, 2021. (43)

**Resumen:** El objetivo del estudio fue determinar el nivel de saturación de oxígeno en mujeres en edad fértil a más de 3600 msnm. Participaron 94 mujeres en edad fértil sanas. Resultados: el promedio de la SpO<sub>2</sub> fue del 91.7%, el mínimo 88% y el máximo 97%. Dentro de los 3600 a 4010msnm, se mostró una variabilidad mínima, del 90% a 3956 msnm al 92% a los 3830 msnm. Las gestantes mostraron en promedio una SpO<sub>2</sub> del 91.5%, y mínimo 90% y máximo 93%; en las no gestantes el promedio fue de 91.7% presentando como mínimo 88% y máxima 97%. según la paridad se observa una variación de 90.67% a 92.1% (43).

#### 4.3. Locales

En las universidades locales no se ha encontrado antecedentes investigativos de actualidad.

### 5. HIPÓTESIS

El estudio no amerita hipótesis por ser descriptivo.



**CAPÍTULO II**  
**PLANTEAMIENTO OPERACIONAL**

## 1. TÉCNICAS, INSTRUMENTOS Y MATERIALES DE VERIFICACIÓN

### 1.1. Técnicas

Se utilizó como técnica la observación.

### 1.2. Instrumentos

El instrumento de recolección de datos que se aplicó en el desarrollo del estudio fue la Guía de Observación, la misma que fue elaborada por los investigadores en base a las variables de estudio, este instrumento no requirió de validación debido a que recogió datos conocidos y estandarizados.

### 1.3. Estructura del instrumento

VARIABLE	INDICADORES	INSTRUMENTO	ITEMS	ESCALA
<b>Variable Independiente</b>				
<b>1. Niveles altitudinales de la región Arequipa</b>  (Se refiere a la altura en metros sobre el nivel del mar de las diferentes localidades que serán incluidas en el estudio)	1.2. Zona costera	Guía de observación	1	Nominal
	1.2. Zona alto costera			
	1.3. Zona baja serrana			
	1.4. Zona serrana			
	1.5. Zona altoandina y puna			
<b>Variables dependientes</b>				
<b>2. Valores de saturación de oxígeno</b>	2.1. Valores promedio normales de saturación de oxígeno medidos por oximetría	Guía de observación	2	Numérica discreta
<b>3. Hemoglobina</b>	3.1. Valores promedio normales de hemoglobina	Guía de observación	3	Numérica discreta
<b>4. Hematocrito</b>	4.1. Valores promedio normales de hemoglobina	Guía de observación	4	Numérica discreta
<b>Variables intervinientes:</b>				
<b>1. Edad</b>	1.1. Fecha de nacimiento	Guía de observación	5	Razón
<b>2. Sexo</b>	2.1. Caracteres sexuales secundarios	Guía de observación	6	Nominal
<b>3. Nativo de altura</b>	3.1. msnm donde nació la persona	Guía de observación	7	Nominal

<b>4. Estado nutricional</b>	4.1. Peso 4.2. Talla 4.3. Índice de Masa Corporal	Guía de observación	8	Ordinal
<b>5. Consumo de carnes rojas al menos dos veces por semana</b>	5.1. Autorreporte	Guía de observación	9	Nominal

## 2. CAMPO DE VERIFICACIÓN

### 2.1. Ubicación espacial

El estudio fue realizado en diferentes ciudades o poblados de la región Arequipa que representan a cada uno de los pisos altitudinales, las localidades elegidas fueron las siguientes:

<b>Nivel altitudinal</b>	<b>Localidad</b>	<b>msnm</b>
Zona costera	Punta de Bombón (San Pedro de Catas)	9 msnm
	Mollendo	52 msnm
Zona alto costera	Santa Isabel de Siguan	1360 msnm
	Caraveli	1776 msnm
Zona baja serrana	Ciudad de Arequipa	2337 msnm
	Chiguata	2946 msnm
Zona serrana	Chivay	3635 msnm
Zona altoandina y puna	Chucura (Caylloma)	4720 msnm

Fuente: INEI. 2018 (44).

### 2.2. Ubicación temporal

El estudio fue realizado durante los meses de octubre del año 2021 al mes de abril del 2022.

## 2.3. Unidades de estudio

### 2.3.1. Población

El universo estuvo conformado por la población de la región Arequipa, los que según el censo de Población del INEI (45) suman 1 millón 268 mil 941 habitantes.

### 2.3.2. Muestra

Debido al tamaño de la población, se calculó una muestra representativa con la fórmula de población infinita de la siguiente manera:

$$n = \frac{(Z)^2 (p) (q) (N)}{(E)^2 (N - 1) + (Z)^2 (p) (q)}$$

Dónde:

n: Tamaño de la muestra

N: 1 268, 941 personas.

p: 0.50 (probabilidad de ocurrencia)

q: 0.50 (probabilidad de no ocurrencia = 1 – p).

Z: 1.96 a un nivel de confianza del 95 %.

E: 5% de error de estimación.

Reemplazando:

$$n = \frac{(1.96)^2 (0.50) (0.50) (1\ 268,941)}{(0.05)^2 (1\ 268,940) + (1.96)^2 (0.50) (0.50)}$$

$$n = \frac{1\ 218690}{3\ 172350 + 0,9604}$$

n = 384.

El número representativo de la muestra es de 384 personas, las mismas que fueron distribuidas por conglomerados entre las diferentes localidades según los niveles altitudinales, de la siguiente manera:

<b>Nivel altitudinal</b>	<b>Localidad</b>	<b>Cantidad</b>
Zona costera	Punta de Bombón (San Pedro de Catas)	38
	Mollendo	38
Zona alto costera	Santa Isabel de Siguan	38
	Caraveli	38
Zona baja serrana	Ciudad de Arequipa	70
	Chiguata	10
Zona serrana	Chivay	76
Zona altoandina y puna	Chucura (Caylloma)	76
<b>TOTAL</b>		<b>384</b>

Se trabajó con las personas que cumplieron los siguientes criterios de selección:

**Criterios de inclusión:**

- Personas con edades comprendidas entre 18 a 75 años, de ambos sexos, que se encontraban aparentemente sanas y/o que no referían patologías.
- Personas que residían de manera permanente (seis meses previos) en las localidades seleccionadas para el estudio.
- Personas que aceptaron participar en la investigación mediante firma del consentimiento informado.

**Criterios de exclusión:**

- Personas con discapacidad física y /o mental.
- Personas que trabajan en minería.
- Personas que presentaban antecedentes de tabaquismo, asma bronquial, EPOC,

transfusión reciente de sangre, insuficiencia cardiaca, anemia severa o en tratamiento de la misma y Enfermedad de Parkinson.

### 2.3.3. Muestreo

El tipo de muestreo que se aplicó en el estudio, es el muestreo probabilístico por conglomerados.

## 3. ESTRATEGIA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

### 3.1. Organización

- Luego de que los jurados dictaminadores dieron su aprobación del proyecto de tesis, se solicitó al Decano de la Facultad de Medicina Humana, se nos otorgue una carta de presentación de la Facultad, la misma que fue utilizada por los investigadores ante la población de estudio.
- Los investigadores se trasladaron hacia las distintas localidades que fueron incluidas en el estudio, portando todo el material necesario para el desarrollo de los exámenes necesarios.
- En cada una de las localidades, se identificó a la población según cumplimiento de los criterios de selección y previa explicación del propósito del estudio se les solicitó su participación en el mismo previa firma del consentimiento informado.
- La saturación de oxígeno fue evaluada mediante el empleo de dos Oxímetros de pulso Marca: Finger Tip Oximeter (marca aprobada por la FDA), previo a la medición se le pedía a los pacientes que permanezcan en reposo durante cinco minutos y luego de ello se procedió a efectuar la evaluación según el procedimiento descrito en el Anexo 3.
- La hemoglobina y el hematocrito fueron analizados mediante el Analizador de hemoglobina y hematocrito: Modelo hemocure, (aprobado por el Ministerio de Salud), el procedimiento de medición se encuentra descrito en el Anexo 4.
- Luego de concluida la etapa de recolección de datos, se realizó el análisis estadístico y el informe final de la investigación.

### 3.2. Recursos

#### **Humanos:**

Los investigadores: Srta. Deyna Karem Dávila Agramonte

Sr. Quispe Villanueva Mario Joel.

Alumnos de la Facultad de Medicina Humana de la Universidad  
Católica de Santa María.

Asesor: Dr. Nuñez Quiroz, Roberto Orlando

#### **Institucionales:**

Facultad de Medicina Humana de la Universidad Católica de Santa María.

#### **Materiales:**

- Oxímetro de pulso
  - Marca: Finger Tip Oximeter
  - Modelo: 60 b1
  - SN: 01030983
  - Pantalla: LED
  - Cuenta con certificación de la Comunidad Europea (CE) y la FDA.
  
- Analizador de hemoglobina y hematocrito: Marca Hemocue HB 201, este equipo ha sido aprobado por el Ministerio de Salud a través del Instituto Nacional de Salud y el Centro Nacional de Alimentación y Nutrición (45), para su evaluación en forma ambulatoria e incluso se establece la validez para su aplicación en localidades de altura, haciendo los reajustes que se presentan en la tabla correspondiente (Anexo 5).
  
- Microcubeta compatible con el hemoglobómetro:
- Lancetas retractiles
- Torundas de algodón
- Alcohol etílico de 70 grados de pureza
- Cubeta
- Guantes de látex no estériles.
- Una cubierta para el área de trabajo

- Ventas autoadhesivas
- Papel Absorbente recortado
- Bolsa roja de bioseguridad para residuos sólidos y bio contaminados
- Recipiente rígido de plástico
- Maletín médico para traslado del material
- Instrumentos de recolección de datos
- Material de escritorio
- Cámara fotográfica
- Computadora
- Software estadístico.

**Financieros:**

Recursos propios.

### **3.4. Validación del instrumento**

De acuerdo a lo señalado en la sección correspondiente, el instrumento no requirió validación.

### **3.5. Criterios para el manejo de los resultados**

Una vez obtenidos los datos se elaboró la matriz de sistematización en Excel v. 26.0 y posteriormente se efectuó el análisis estadístico, que consiste en la aplicación de estadística de tendencia central, se calcularon los valores mínimos, máximos y promedios de cada variable. Los resultados son presentados en tablas y gráficos.

### **3.6. Principios éticos**

Para el desarrollo del estudio y durante todo el proceso de ejecución del mismo, fue necesario considerar diversos principios jurídicos y éticos, entre los cuales, tendremos en cuenta la originalidad del estudio y el respeto irrestricto de la propiedad intelectual (derechos de autor), por tanto, todas las fuentes primarias y secundarias que se emplearon

para el desarrollo de la presente investigación, fueron debidamente consignadas, colocando las referencias bibliográficas de acuerdo a las Normas Vancouver.

Asimismo, cuando se realizan trabajos de investigación en el área médica o de salud, es indispensable contar con la opinión del Comité de Bioética de la Facultad, para ello, se presentó el proyecto al Comité de Ética de la Facultad de Medicina para que el proyecto sea evaluado, por lo que la recolección de los datos fue efectuada solamente después de obtener el informe de aprobación del mismo.

Cumpliendo con las normas éticas que rigen la investigación biomédica, debemos señalar, que los datos fueron manejados con total confidencialidad y siempre bajo la debida cautela de protección de la identidad de los participantes y de los resultados obtenidos en las pruebas, asimismo durante el proceso de investigación se consideraron los siguientes principios éticos:

**Principio de no maleficencia:** los investigadores durante el proceso de la recolección de datos, no causaron ningún tipo de daño que pusiera en riesgo la integridad y vida de las unidades de estudio.

**Principio de beneficencia:** El estudio aporta datos fiables y ciertos, los mismos que contribuyen al cuerpo de conocimientos sobre el tema.

**Principio de autonomía:** Se tuvo un irrestricto respeto a la libertad personal de tomar sus propias decisiones y acciones, por lo cual, sólo se incluyó a las personas que de manera libre y voluntaria aceptaron participar en la investigación, a través del consentimiento informado; asimismo, se garantizó que la información de cada persona sería manejada con total confidencialidad y respeto.

**Principio de justicia:** Es el principio de ser justo o equitativo, por medio de este principio se garantiza que todos los participantes serían tratados con amabilidad y respeto; además se les brindó toda la información necesaria de manera oportuna y sin ningún tipo de discriminación.



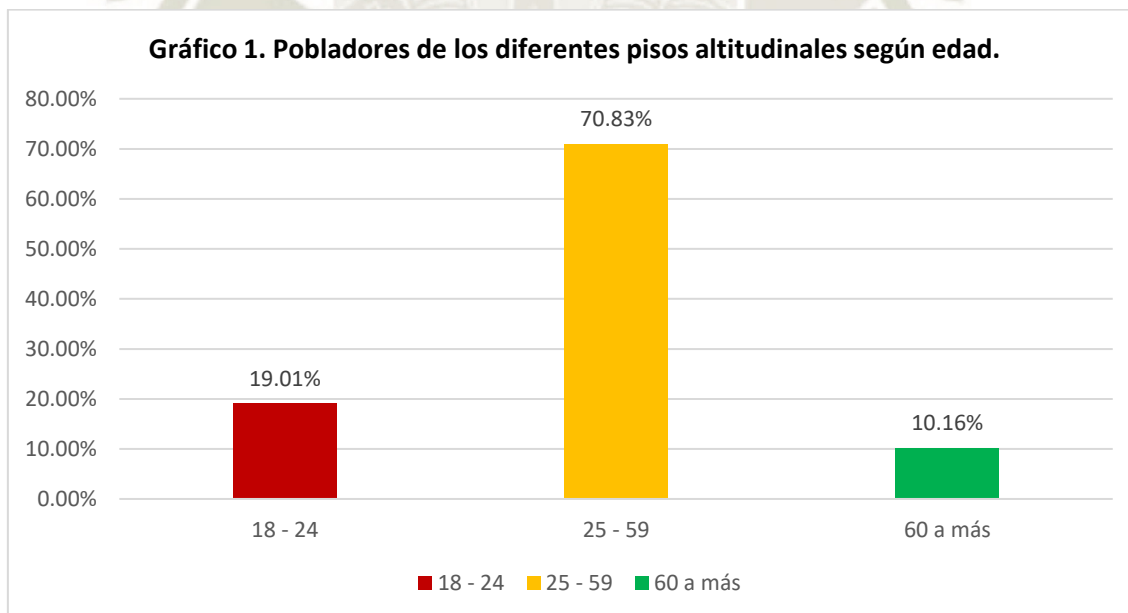
## **CAPÍTULO III RESULTADOS**

**TABLA 1**  
**POBLADORES DE LOS DIFERENTES NIVELES ALTITUDINALES DE LA**  
**REGIÓN AREQUIPA SEGÚN CARACTERÍSTICAS GENERALES. 2022**

<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES</b>	<b>F</b>	<b>%</b>
<b>Edad:</b>		
18 – 24	73	19,01
25 – 59	272	70,83
60 a más	39	10,16
<b>TOTAL</b>	<b>384</b>	<b>100</b>
<b>Sexo:</b>		
Femenino	263	68,49
Masculino	121	31,51
<b>TOTAL</b>	<b>40</b>	<b>100</b>
<b>Nativo de altura:</b>		
Si	282	73,44
No	102	26,56
<b>TOTAL</b>	<b>384</b>	<b>100</b>
<b>Estado nutricional:</b>		
Peso bajo	3	0,78
Peso normal	109	28,39
Sobrepeso	178	46,35
Obesidad	94	24,48
<b>TOTAL</b>	<b>384</b>	<b>100</b>
<b>Consumo de carnes rojas al menos dos veces por semana:</b>		
Si	289	75,26
No	95	24,74
<b>TOTAL</b>	<b>384</b>	<b>100</b>
<b>Consumo de carne tipo charqui:</b>		
No	221	57,55
Si	163	42,45
<b>TOTAL</b>	<b>384</b>	<b>100</b>
<b>Consumo de menestras al menos una vez por semana:</b>		
Si	362	94,27
No	22	5,73
<b>TOTAL</b>	<b>384</b>	<b>100</b>

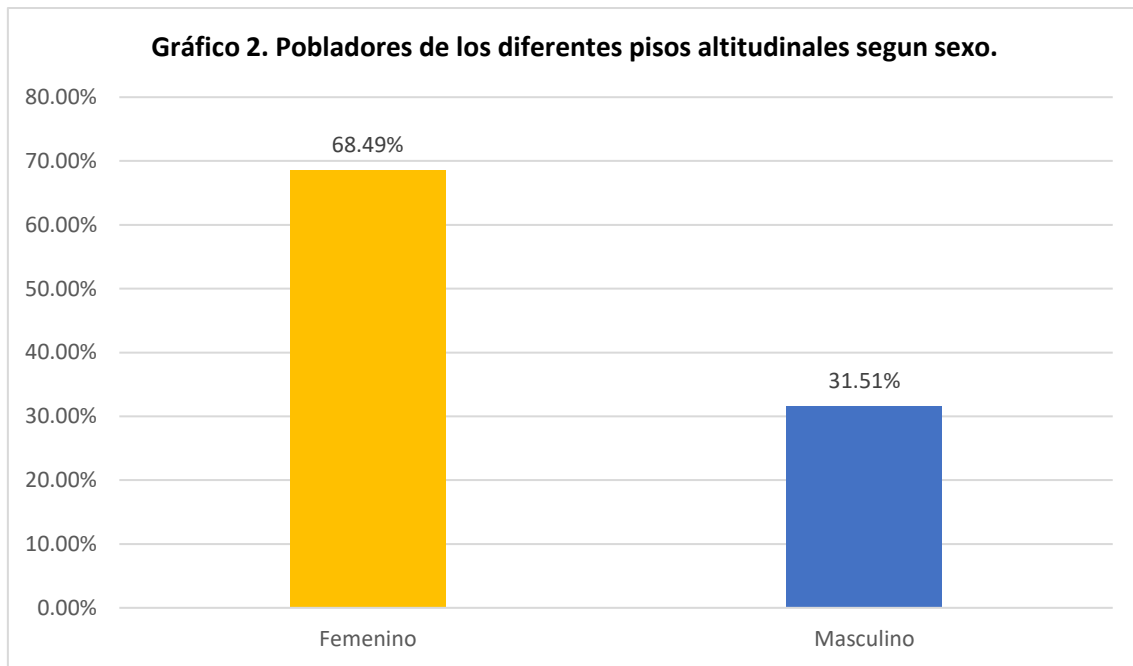
<b>Antecedentes de enfermedad pulmonar:</b>		
No	233	60,68
COVID – 19	143	37,24
Tuberculosis	7	1,82
Derrame pleural	1	0,26
<b>TOTAL</b>	<b>384</b>	<b>100</b>
<b>Ha recibido vacunas COVID</b>		
No	20	5,21
Una dosis	5	1,30
Dos dosis	170	44,27
Tres dosis	189	49,22
<b>TOTAL</b>	<b>384</b>	<b>100</b>
<b>Ingreso económico por mes:</b>		
No refiere	323	84,11
< 930 soles	16	4,17
930 – 1860 soles	34	11,97
Más de 1860	11	2,86
<b>TOTAL</b>	<b>384</b>	<b>100</b>

Fuente: elaboración propia



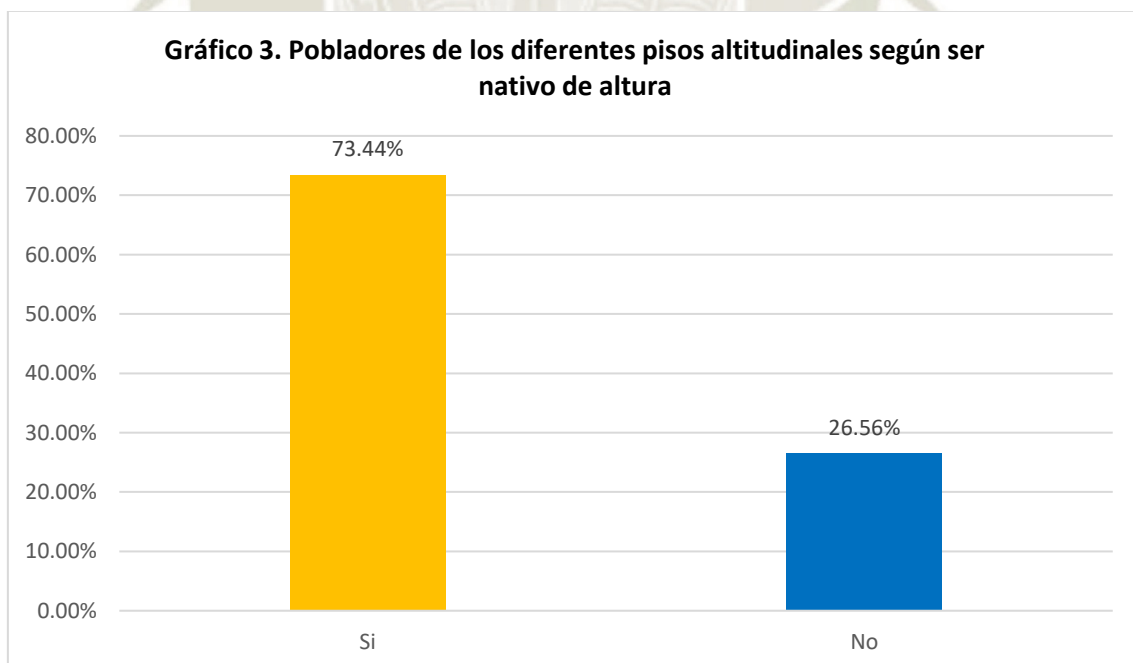
Fuente: elaboración propia

Se observa en la tabla y gráfico 1, que las edades de los pobladores están comprendidas desde los 18 a 24 años en el 19,01%, de 25 a 29 años en el 70,83% y de 60 años a más en 10,16%. La edad promedio fue de 61 años, la edad mínima 18 años y la máxima 73 años.



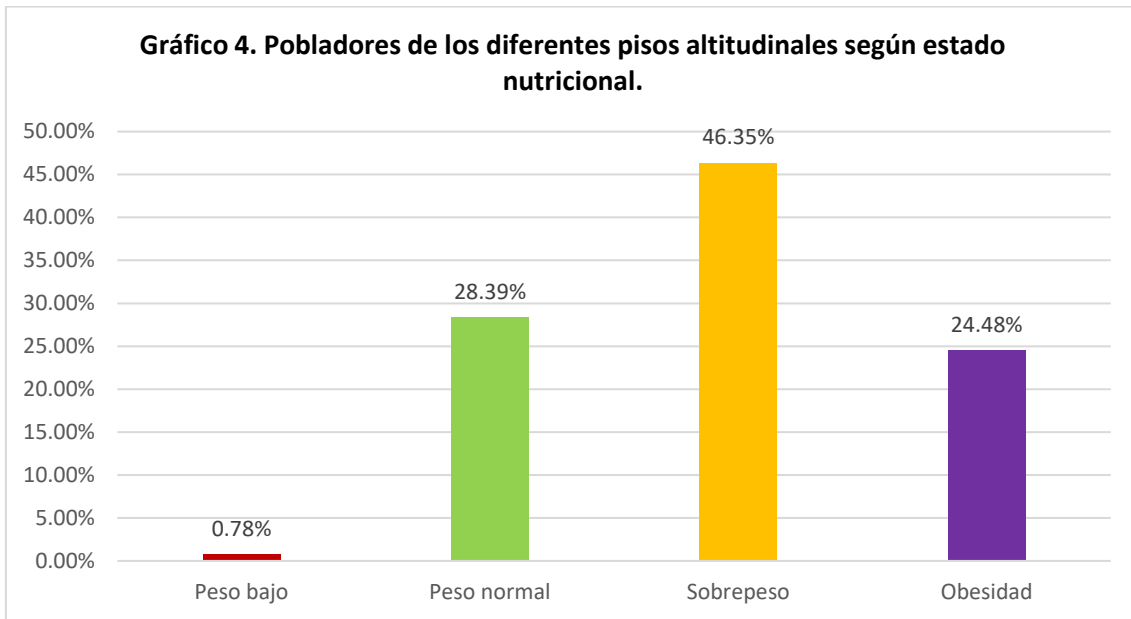
**Fuente: elaboración propia**

Se observa en la tabla 1 y gráfico 2, que el 68,49% de los pobladores son de sexo femenino y el 31,51% de sexo masculino.



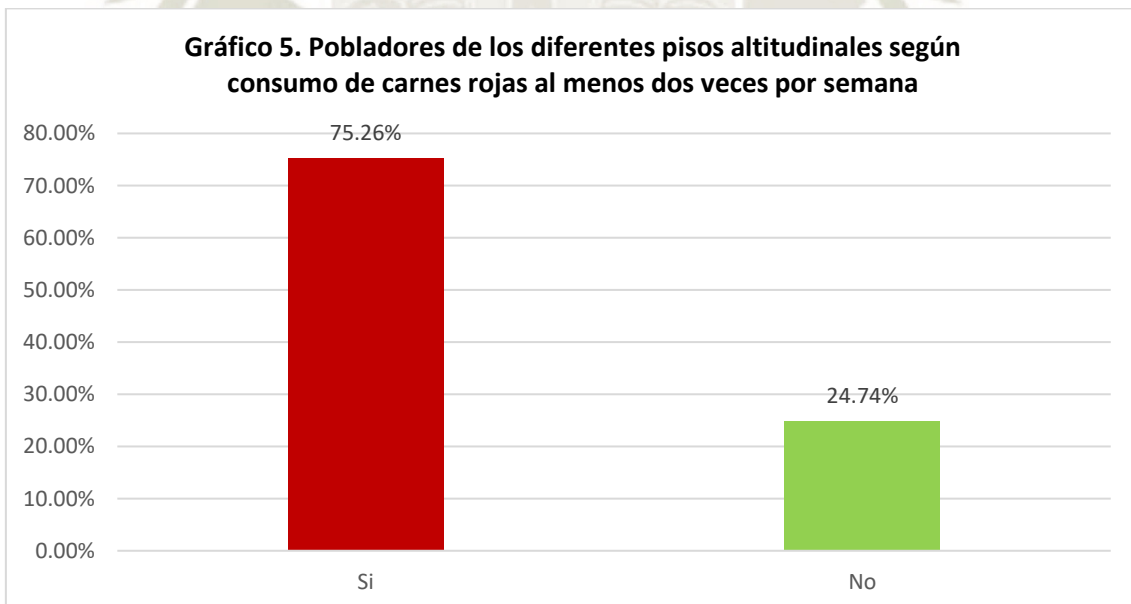
**Fuente: elaboración propia.**

Se observa en la tabla 1 y gráfico 3, que el 73,44% de pobladores si son nativos de altura y el 26,56% no lo son.



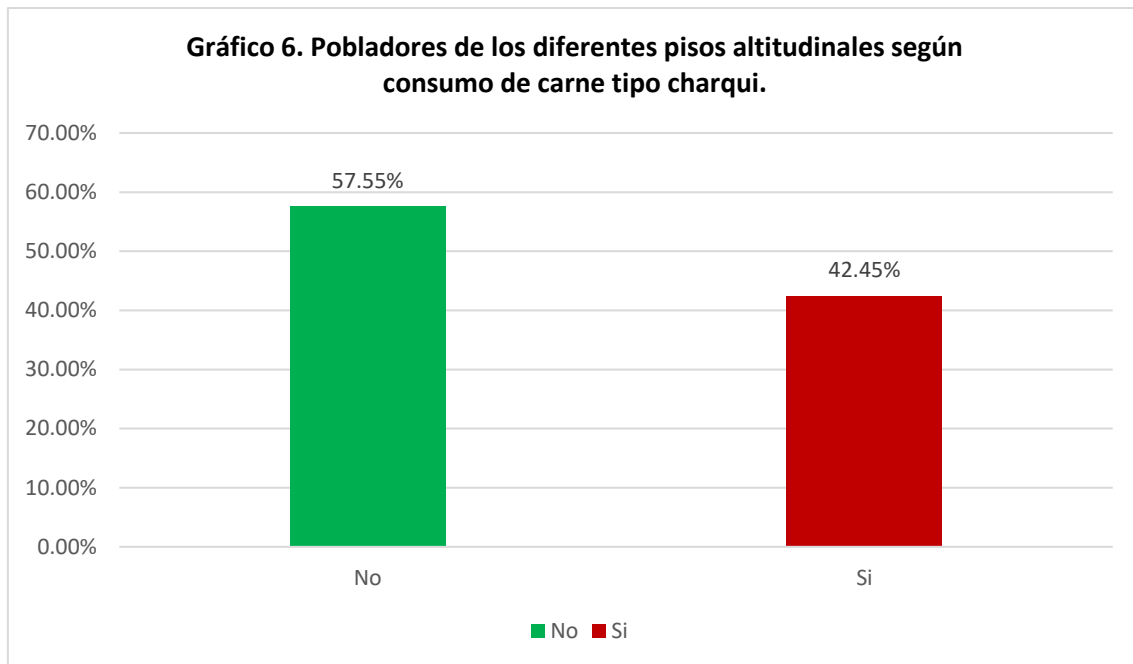
**Fuente: elaboración propia.**

Se observa en la tabla 1 y gráfico 4, que en la población de estudio predomina el sobrepeso en 46,35%, seguido del peso normal en 28,39%, la obesidad se presentó en el 24,48% y el bajo peso en el 0,78%.



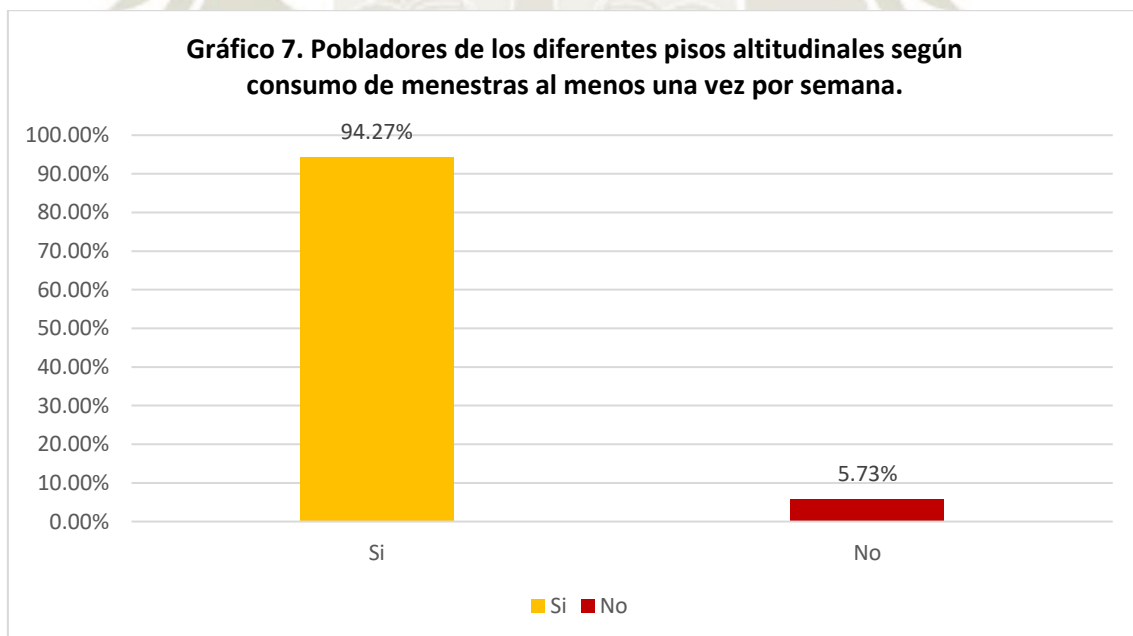
**Fuente: elaboración propia.**

Se observa en la tabla 1 y gráfico 5, que el 75,26% de pobladores sí consumen carnes rojas la menos dos veces por semana y el 24,74% no las consume.



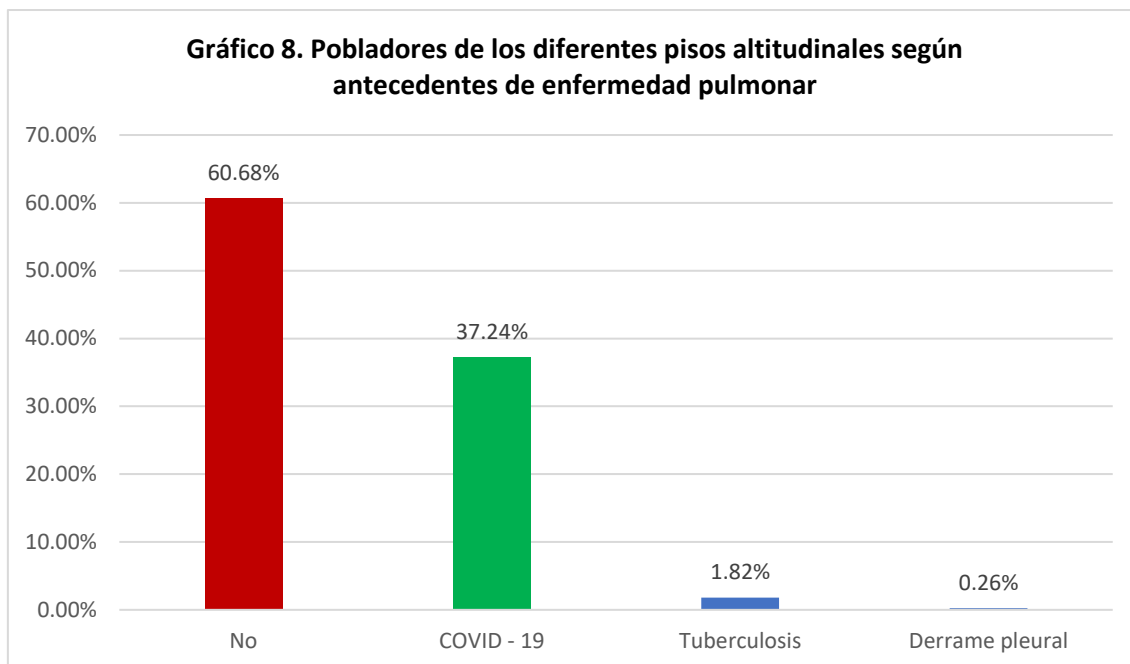
**Fuente: elaboración propia.**

Se observa en la tabla 1 y gráfico 6, que el 57,55% de pobladores no consumen carne tipo charqui y el 42,45% si la consume.



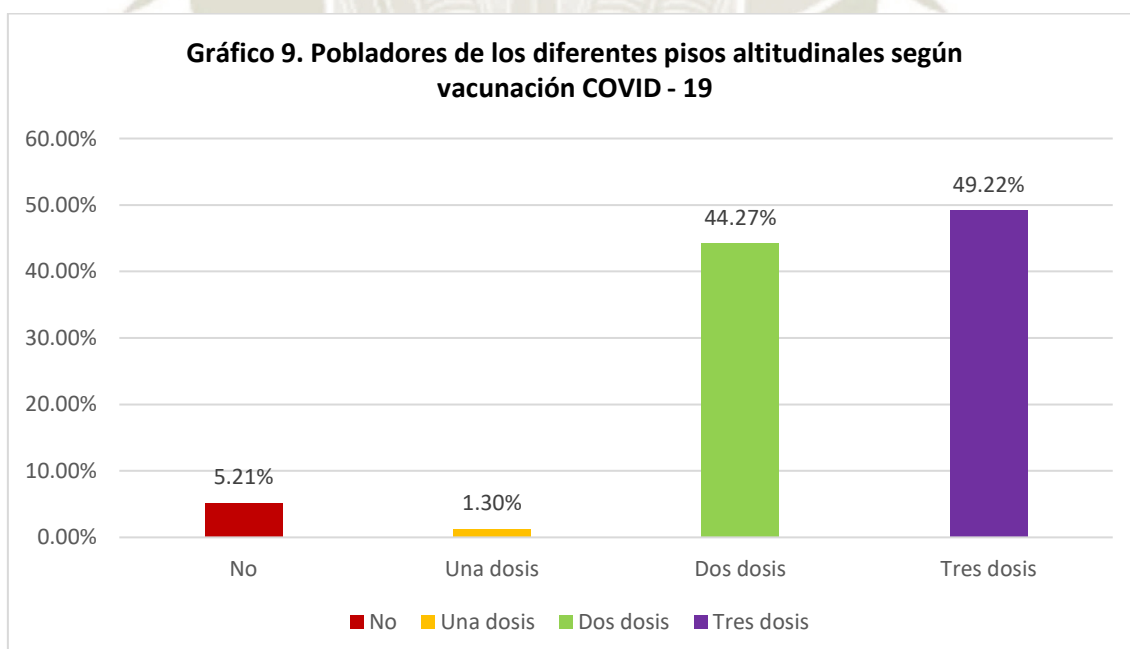
**Fuente: elaboración propia.**

En la tabla 1 y gráfico 7 se observa que el 94,27% de pobladores sí consumen menestras al menos una vez por semana y el 5,73% no las consume o lo hace con menor frecuencia.



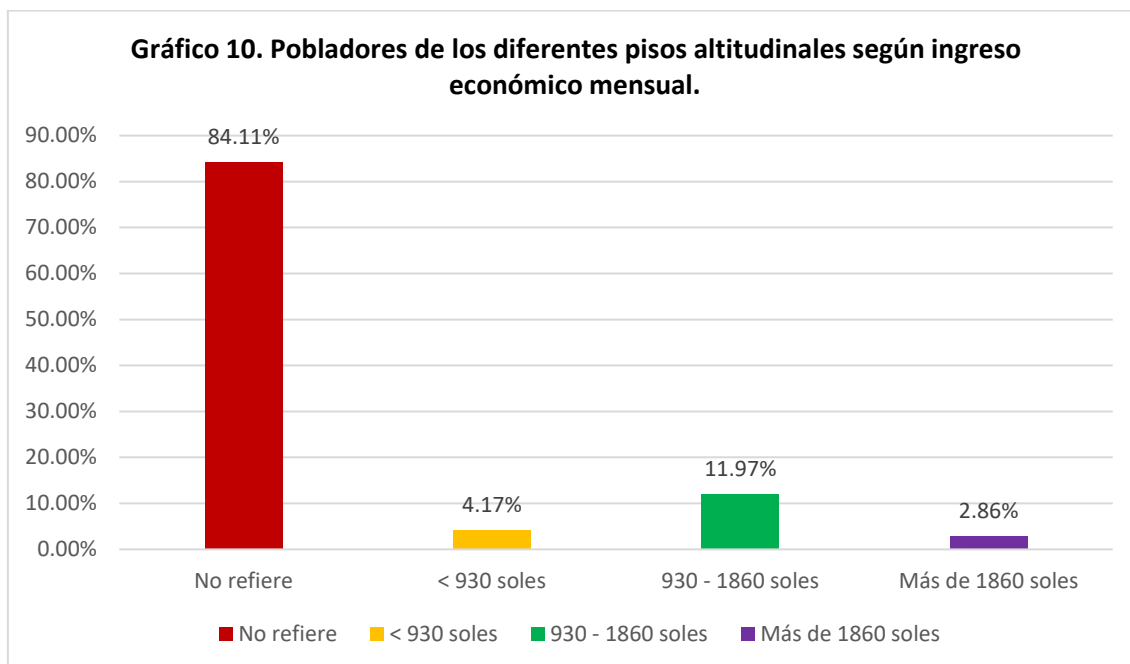
**Fuente: elaboración propia.**

Se observa en la tabla 1 y gráfico 8, que el 60,68% de pacientes no presentan antecedentes de enfermedad pulmonar, el 37,24% presentó COVID – 19, siendo la mayoría casos leves y algunos moderados a severos; el 1,82% presentó Tuberculosis y el 0,26% derrame pleural.



**Fuente: elaboración propia.**

Se observa en la tabla 1 y gráfico 9, que el 49,22% de pobladores han recibido tres dosis de la vacuna contra la COVID – 19, el 44,27% ha recibido dos dosis, el 1,30% una dosis y el 5,21% no ha recibido ninguna dosis.



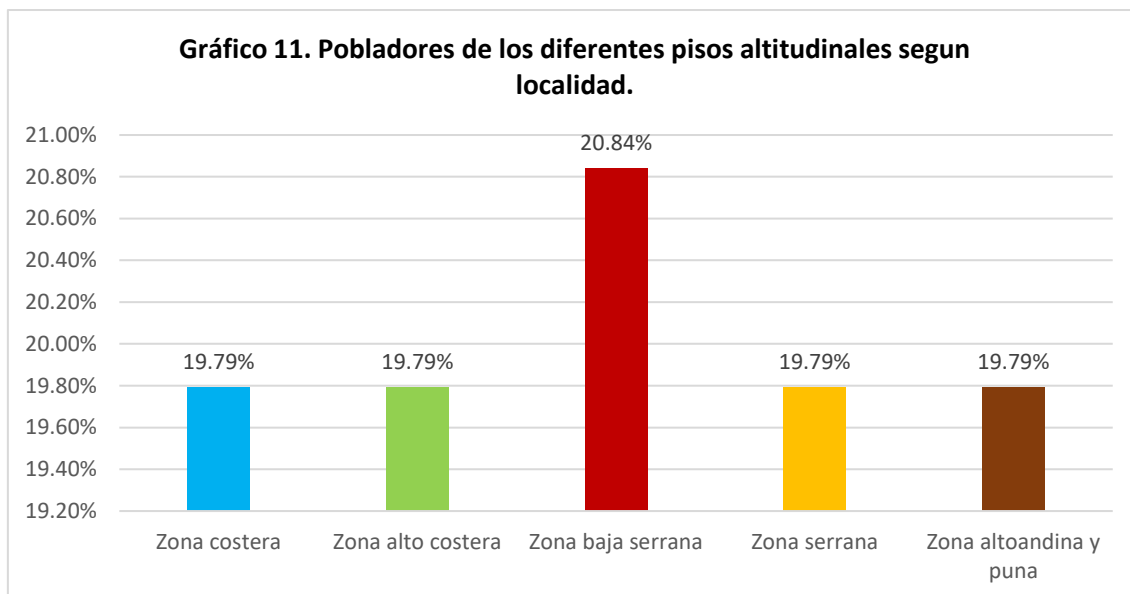
**Fuente: elaboración propia.**

Se observa en la tabla 1 y gráfico 10, que el 84,11% de pobladores no refieren el monto de sus ingresos económicos, el 4,17% percibe menos de 930 soles, el 11,97% percibe entre 930 y 1860 soles y el 2,86% percibe más de 1860 soles.

**TABLA 2**  
**POBLADORES DE LOS DIFERENTES NIVELES ALTITUDINALES DE LA**  
**REGIÓN AREQUIPA SEGÚN LOCALIDAD. 2022**

LOCALIDAD	F	%
Zona costera	76	19,79
Zona alto costera	76	19,79
Zona baja serrana	80	20,84
Zona serrana	76	19,79
Zona altoandina y puna	76	19,79
<b>TOTAL</b>	<b>384</b>	<b>100</b>

**Fuente: elaboración propia.**



**Fuente: elaboración propia.**

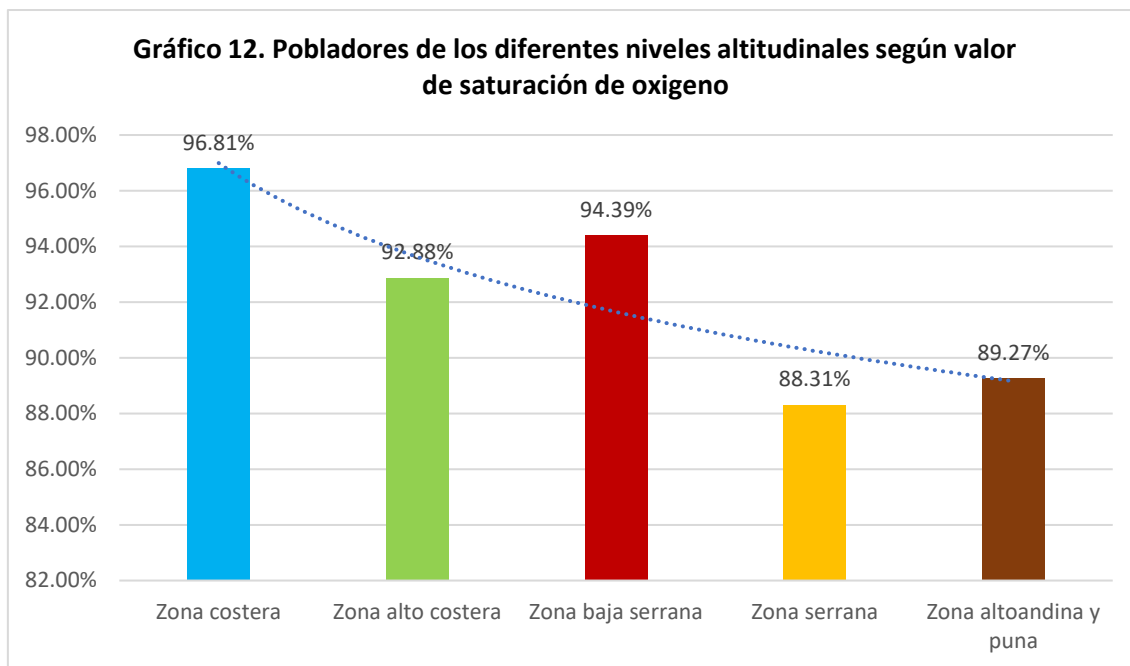
Se observa en la tabla 2 y gráfico 11, que el 20,84% de pobladores pertenecen a la zona baja serrana representada por la ciudad de Arequipa y el distrito de Chiguata; el 19,79% representa a la zona costera, conformada por las localidades de La Punta de Bombón y Mollendo; el 19,79% pertenecen a la zona alto costera, que corresponde a las localidades de Santa Isabel de Sigwas y Caravelí; el 19,79% corresponde la zona serrana, que estuvo representada por la localidad de Chivay y el 19,79% corresponde a la zona altoandina y puna, representada por la localidad de Chucura en Caylloma.

**TABLA 3**

**POBLADORES DE LOS DIFERENTES NIVELES ALTITUDINALES DE LA REGIÓN AREQUIPA SEGÚN VALOR DE SATURACIÓN DE OXÍGENO. 2022**

LOCALIDAD	VALOR DE SATURACIÓN DE OXÍGENO				
	Promedio	Mediana	Mínimo	Máximo	DE ±
Zona costera	96,81%	98%	92%	100%	±1,55%
Zona alto costera	92,88%	99%	86%	99%	±2,48%
Zona baja serrana	94,39%	94%	90%	99%	±1,72%
Zona serrana	88,31%	89%	84%	93%	±2,11%
Zona altoandina y puna	89,27%	86%	82%	95%	±2,87%

**Fuente: elaboración propia.**



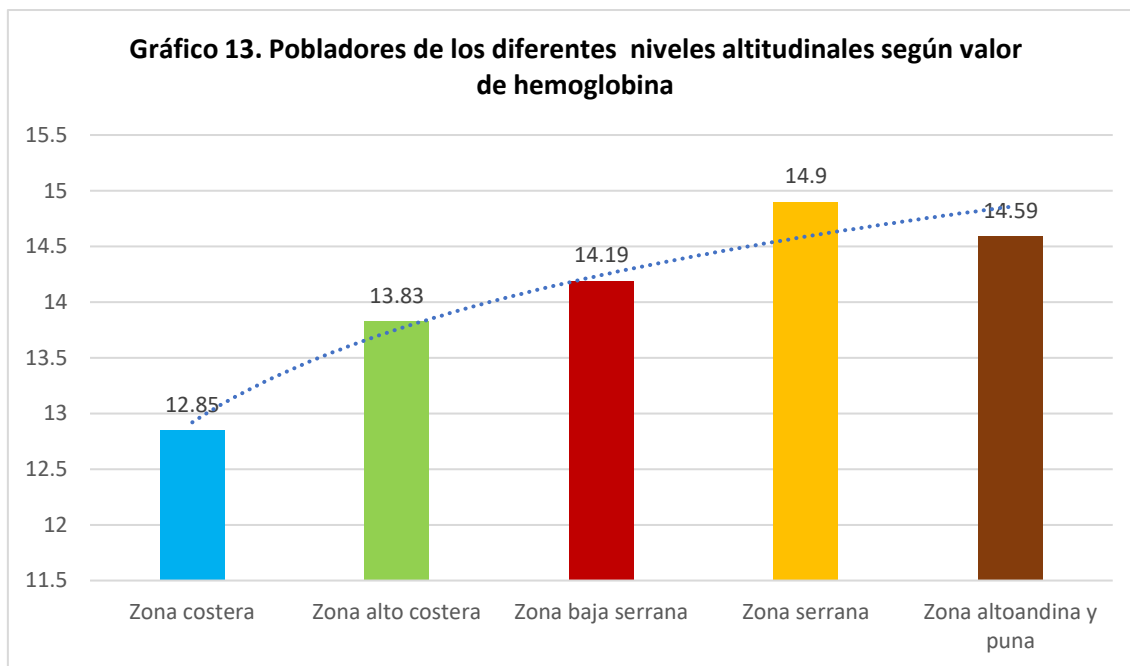
**Fuente: elaboración propia.**

Se observa en la tabla 3 y gráfico 12, los valores de saturación de oxígeno promedios que se presentan en cada zona altitudinal, así se tiene que en la zona costera el valor de saturación de oxígeno promedio es de 96,81% ( $\pm 1,55\%$ ); en la zona alto costera el promedio es de 92,88% ( $\pm 2,48\%$ ); en la zona baja serrana es de 94,39% ( $\pm 1,72\%$ ); el promedio en la zona serrana es de 88,31% ( $\pm 2,11\%$ ) y en la zona altoandina y puna el promedio es 89,27% ( $\pm 2,87\%$ ).

**TABLA 4**  
**POBLADORES DE LOS DIFERENTES NIVELES ALTITUDINALES DE LA**  
**REGIÓN AREQUIPA SEGÚN VALOR DE HEMOGLOBINA. 2022**

LOCALIDAD	VALOR DE HEMOGLOBINA (g/dl)				
	Promedio	Mediana	Mínimo	Máximo	DE $\pm$
Zona costera	12,85 g/dl	12,4 g/dl	10,4g/dl	16,7 g/dl	$\pm 1,47$ g/dl
Zona alto costera	13,83g/dl	15,6 g/dl	9,3 g/dl	19,7 g/dl	$\pm 2,04$ g/dl
Zona baja serrana	14,19 g/dl	15,6 g/dl	10,5 g/dl	18,5 g/dl	$\pm 2,02$ g/dl
Zona serrana	14,90 g/dl	14,7 g/dl	10,1 g/dl	19,1 g/dl	$\pm 1,48$ g/dl
Zona altoandina y puna	14,59 g/dl	17,5 g/dl	9,7 g/dl	19,9 g/dl	$\pm 1,95$ g/dl

**Fuente: elaboración propia.**



**Fuente: elaboración propia.**

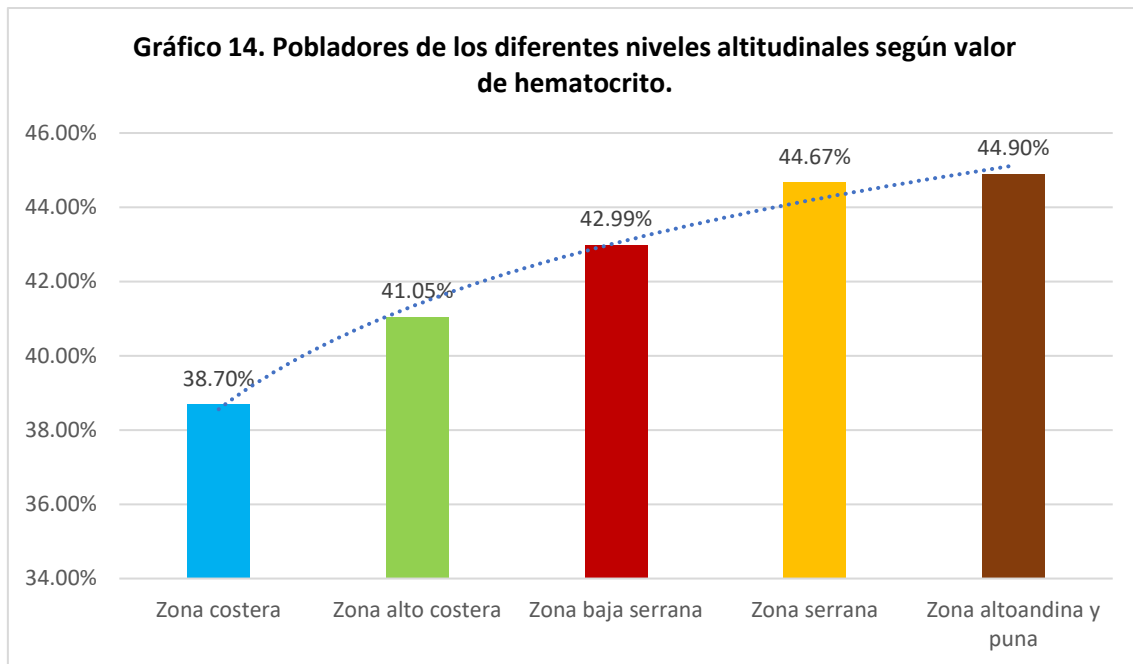
Se observa en la tabla 4 y gráfico 13, los valores de hemoglobina promedios que se presentan en cada zona altitudinal, así se tiene que en la zona costera el valor de hemoglobina promedio es de 12,85 g/dl ( $\pm 1,47$  g/dl); en la zona alto costera el promedio es de 13,83g/dl ( $\pm 2,04$ g/dl); en la zona baja serrana es de 14,19 g/dl ( $\pm 2,02$  g/dl); el promedio en la zona serrana es de 14,90 g/dl ( $\pm 1,48$  g/dl) y en la zona altoandina y puna el promedio es 14,59 g/dl ( $\pm 1,95$  g/dl).

**TABLA 5**

**POBLADORES DE LOS DIFERENTES NIVELES ALTITUDINALES DE LA  
REGIÓN AREQUIPA SEGÚN VALOR DE HEMATOCRITO. 2022**

LOCALIDAD	VALOR DE HEMATOCRITO (%)				
	Promedio	Mediana	Mínimo	Máximo	DE $\pm$
Zona costera	38,70%	38,00%	23,1%	50,00%	$\pm 4,80\%$
Zona alto costera	41,05%	45,30%	27,9%	55,20%	$\pm 4,98\%$
Zona baja serrana	42,99%	47,70%	23,40%	53,50%	$\pm 6,22\%$
Zona serrana	44,67%	46,50%	30,30%	57,30%	$\pm 4,77\%$
Zona altoandina y puna	44,90%	52,50%	21,90%	97,20%	$\pm 8,36\%$

**Fuente: elaboración propia.**



**Fuente: elaboración propia.**

Se observa en la tabla 5 y gráfico 14, los valores de hematocrito promedios que se presentan en cada zona altitudinal, así se tiene que en la zona costera el valor de hematocrito promedio es de 38,70% ( $\pm 4,80\%$ ); en la zona alto costera el promedio es de 41,05% ( $\pm 4,98\%$ ); en la zona baja serrana es de 42,99% ( $\pm 6,22\%$ ); el promedio en la zona serrana es de 44,67% ( $\pm 4,77\%$ ) y en la zona altoandina y puna el promedio es 44,90% ( $\pm 8,36\%$ ).

### 3.2. DISCUSIÓN

El objetivo de nuestro estudio fue determinar los valores de saturación de oxígeno, hemoglobina y hematocrito de pobladores mayores de edad residentes de diferentes niveles altitudinales de la Región Arequipa, de manera tal que se puedan tener parámetros de referencia de nuestra población, la cual tiene como una de las principales características que debido a la aclimatación a la altura, el nivel promedio de hemoglobina es más alto que el observado en los participantes que viven a nivel del mar, que es la principal variable en la modificación de la viscosidad de sangre.

En la tabla 1 y en los gráficos 1 al 10, se presentaron los resultados referidos a las características generales de los pobladores evaluados, en cuanto a la edad destaca que el 70,83% tienen edades entre 25 a 59 años, siendo el promedio de 61 años. El sexo predominante fue el femenino que representa al 68,49% del total; el 73,44% de pobladores si eran nativos de altura; en cuanto al estado nutricional, destaca el sobrepeso y obesidad en 70,83%. Además de lo anterior, se interrogó a los pobladores acerca del consumo de carnes rojas, donde se encontró que el 75,26% sí consume carnes rojas al menos dos veces por semana; el 57,55% no consume carne tipo charqui; el 94,27% sí consume menestras al menos una vez por semana. El 60,68% de pobladores no presentaban antecedente de enfermedad pulmonar; el 37,24% había presentado COVID – 19, pero la mayoría de estos casos fueron leves a moderados, aunque también hubo algunos casos severos; el 49,22% de pobladores han recibido tres dosis de la vacuna contra el COVID – 19 y el 44,27% dos dosis. El 84,11% de pobladores no refirieron su ingreso económico por mes.

Cabe precisar que durante la selección de los pobladores que cumplían los criterios de inclusión para participar en el estudio, se tuvieron que excluir numerosos pobladores incluso jóvenes, que reportaban el antecedente de EPOC, y a decir de ellos mismos, esta se debe a que presentan exposición crónica al humo de la leña que emplean para cocinar, y este humo es un contaminante que se ha observado de manera muy frecuente en los domicilios, muchos de los cuales están conformados por una habitación en la que se comparten espacios de cocina, comedor y dormitorios, por lo que realmente la exposición que estas personas tienen a las sustancias dañinas que produce la combustión de la leña es muy preocupante, y lleva a pensar en la necesidad de establecer mejoras a nivel de la

salud pública en las comunidades que viven en zonas rurales y a mayor altitud respecto a la posibilidad de realizar coordinaciones con organizaciones gubernamentales o privadas para facilitar el acceso a cocinas a leña mejoradas que eviten que el humo impregne el interior de las viviendas.

En la tabla 2 y gráfico 11, se observó que el 19,79% de pobladores representan a la zona costera, el 19,79% a la zona alto costera; el 20,84% a la zona baja serrana; el 19,79% a la zona serrana y el 19,79% a la zona altoandina y puna. Cabe precisar, que debido a que se trabajó con muestreo por conglomerados, la distribución de pobladores de cada una de las zonas altitudinales es similar, excepto la ciudad de Arequipa, que, por el tamaño de la población, según el cálculo del tamaño muestral, le corresponde mayor número de participantes.

En la tabla 3 y gráfico 12, se observaron los valores promedio de saturación de oxígeno en cada una de las localidades, así se tiene que en la zona costera el promedio es de 96,81%, en la zona alto costera es 92,88%, en la zona baja serrana es 94,39%, en la zona serrana es 88,31% y en la zona altoandina y puna es 89,27%. Al respecto, la línea de tendencia muestra como con el incremento de la altitud sobre el nivel del mar, va disminuyendo el valor promedio de saturación de oxígeno.

En el estudio de Escobar (43) encontraron que el promedio de la SpO<sub>2</sub> fue del 91.7%, el mínimo 88% y el máximo 97%. Dentro de los 3600 a 4010msnm, se mostró una variabilidad mínima, del 90% a 3956 msnm al 92% a los 3830 msnm, esta variabilidad mínima con el incremento de la altura como reporto Escobar (43) es menor a la que se ha encontrado en el presente estudio.

En la tabla 4 y gráfico 13, se observaron los valores promedio de hemoglobina, siendo para la zona costera de 12,85 g/dl, en la zona alto costera es 13,83 g/dl, en la zona baja serrana es 14,19 g/dl, en la zona serrana es 14,90 g/dl y en la zona altoandina y puna es 14,59g/dl. Nuevamente al observar la línea de tendencia, se aprecia que el valor de hemoglobina se va incrementando conforme aumenta la altitud sobre el nivel del mar de las localidades evaluadas.

Según mencionan Huamaní, Sarmiento, Cordova, Cruz, Damian y Antonio (47), la hemoglobina y el hematocrito son los factores más influyentes en la determinación de la viscosidad de la sangre. Sin embargo, se encuentra que las personas que viven al nivel del mar, pueden presentar niveles bajos de hemoglobina, incluso con variaciones entre el

60% y el 71% en la viscosidad sanguínea donde participan elementos como el fibrinógeno, el cual no es posible medir fuera del ámbito del laboratorio.

Por el contrario, para las personas que viven en altitudes elevadas (2.500 msnm) y que naturalmente están sometidas a una condición de hipoxia crónica, el proceso de aclimatación fisiológica conduce a un aumento en el número de glóbulos rojos y los niveles de hematocrito y hemoglobina para compensar la deficiencia en el transporte de oxígeno, lo que aumenta la viscosidad de la sangre. Este incremento de la viscosidad de la sangre se relaciona con una incidencia incrementada de accidentes cerebrovasculares, enfermedades cardíacas y cáncer (47).

Los cambios específicos que experimentará la población de altura también pueden provocar cambios en sus factores de riesgo habituales; en estos casos, puede ser necesaria la medición de la viscosidad de la sangre. Además, no está claro si se desarrollaron ciertos mecanismos durante el proceso de aclimatación fisiológica para evitar la descompensación de la viscosidad sanguínea. En el estudio de Huamaní y cols (47) encontraron que el nivel promedio de hemoglobina fue de 16,3 g/dl, mientras que el nivel de hemoglobina en individuos que vivían al nivel del mar fue de  $14,3 \pm 0,9$  g/dl. Por el contrario, las poblaciones que viven en altitudes elevadas (>3800 m) tenían un nivel de hemoglobina de  $18,3 \pm 1,3$  g/dl (48). En tal sentido, en nuestros hallazgos, se aprecia que la hemoglobina se incrementa con la mayor altura, sin embargo, estos valores no superan los límites establecidos para considerar “eritrocitosis excesiva”.

En la tabla 5 y gráfico 1, se observó los valores promedio de hematocrito que presentan los pobladores de los diferentes pisos altitudinales de la región Arequipa, así se tiene que en la zona costera el hematocrito promedio es de 38,70%, en la zona alto costera es 41,05%, en la zona baja serrana es 42,99%, en la zona serrana es 44,67% y en la zona altoandina y puna es 44,90%. La línea de tendencia muestra claramente el incremento del valor de hemoglobina conforme se incrementa la altitud sobre el nivel del mar, siendo además esta variable la que presenta la mayor tendencia a incrementarse con la altura.

## CONCLUSIONES

### PRIMERA

El valor de saturación de oxígeno de los pobladores residentes de los diferentes niveles altitudinales de la región Arequipa es de 96,81% en la zona costera, en la zona alto costera es 92,88%, en la zona baja serrana es 94,39%, en la zona serrana es 88,31% y en la zona altoandina y puna es 89,27%.

### SEGUNDA

Los valores de hemoglobina de los pobladores residentes de los diferentes niveles altitudinales de la región Arequipa son: 12,85 g/dl en la zona costera, en la zona alto costera es 13,83 g/dl, en la zona baja serrana es 14,19 g/dl, en la zona serrana es 14,90 g/dl y en la zona altoandina y puna es 14,59g/dl.

### TERCERA

Los valores de hematocrito de los pobladores residentes de los diferentes niveles altitudinales de la región Arequipa son: en la zona costera el hematocrito promedio es de 38,70%, en la zona alto costera es 41,05%, en la zona baja serrana es 42,99%, en la zona serrana es 44,67% y en la zona altoandina y puna es 44,90%.

## RECOMENDACIONES

### PRIMERA

A las autoridades del sector salud, así como a las Municipalidades se sugiere, que se realicen esfuerzos para la mejora de la salud pública de las comunidades que viven en altitudes de las localidades de la zona serrana y la zona altoandina y puna, a efectos de evitar el riesgo y los efectos dañinos para la salud causados por la exposición al humo de la leña que emplean como combustible para cocinar y calentar el hogar.

### SEGUNDA

Se sugiere tener en cuenta los resultados de la presenta investigación para establecer parámetros de referencia acerca de los valores de saturación de oxígeno, hemoglobina y hematocrito que se presentan en los pobladores de los diferentes pisos altitudinales de la Región Arequipa.

### TERCERA

A los establecimientos de salud de las zonas baja serrana y zona altoandina y puna, se sugiere que se realicen campañas de salud, dado que se ha encontrado una elevada frecuencia de anemia en los adultos, lo cual, parece deberse a deficiencias en el estado nutricional, escaso acceso a alimentos por falta de recursos económicos, así como por la influencia de otros determinantes sociales de la salud.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. Bigham, AW. Genética del origen y la evolución humana: adaptaciones a gran altitud. *Curr. Opin. Genet. Dev.* 2016; 41, 8-13. [Fecha de acceso: 14 setiembre, 2021] doi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/>
2. Chen, Y., Gong, L., Liu, X., Chen, X., Yang, S., Luo, Y. Mitochondrial DNA genomes revealed different patterns of high-altitude adaptation in high-altitude Tajiks compared with Tibetans and Sherpas. *Sci Rep.* 2020; 10(1): 10592. [Fecha de acceso: 14 setiembre, 2021] doi: <https://www.nature.com/articles/s41598-020-67519-z>
3. Richalet, JP. Adaption to chronic hypoxaemia by populations living at high altitude. *Rev Mal Respir.* 2021; 38(4): 395-403. [Fecha de acceso: 14 setiembre, 2021] doi: <https://doi.org/10.1016/j.rmr.2020.11.007>
4. Aguilar, M. Hipoxia hipobárica intermitente: efectos agudos y crónicos en la función, estructura y estrés oxidativo cardiovascular. [Tesis para optar al Grado de Magister en Fisiopatología] Universidad de Chile, Chile, 2018. [Fecha de acceso: 14 setiembre, 2021] doi: <https://repositorio.uchile.cl/bitstream>
5. Accinelli, R., Leon-Abarca, JA. At High Altitude COVID-19 Is Less Frequent: The Experience of Peru. *Arch Bronconeumol (Engl Ed).* 2020; 56(11): 760-761. [Fecha de acceso: 14 setiembre, 2021] doi: <https://doi.org/10.1016/j.arbres.2020.06.015>
6. Jouffroy, R., Daniel J., Bertrand P. Prehospital Pulse Oximetry: A Red Flag for Early Detection of Silent Hypoxemia in COVID-19 Patients. *Critical Care (London, England).* 2020; 24 (1). *Critical Care*: 313. [Fecha de acceso: 14 setiembre, 2021] doi: 10.1186/s13054-020-03036-9
7. Levitan, R. The Infection That's Silently Killing Coronavirus Patients." *The New York Times*, 2020. [Fecha de acceso: 14 setiembre, 2021] doi: <https://www.nytimes.com/2020/04/20/opinion/sunday/coronavirus>
8. Gahutu, J. Hematological values at moderate altitude in a low-income population. *IBRR.* 2013; 1(1): 22-28. [Fecha de acceso: 14 setiembre, 2021] doi: <http://zenodo.org/record/9738/files/1372652843-Gahutu112013IBRR3530.pdf>
9. Trompetero, A., Cristancho, E., Benavides, W., Serrato, M., Landinéz, MP., Rojas, J. *Nutr Hosp.* 2015;32(5):2309-2318. [Fecha de acceso: 14 setiembre,

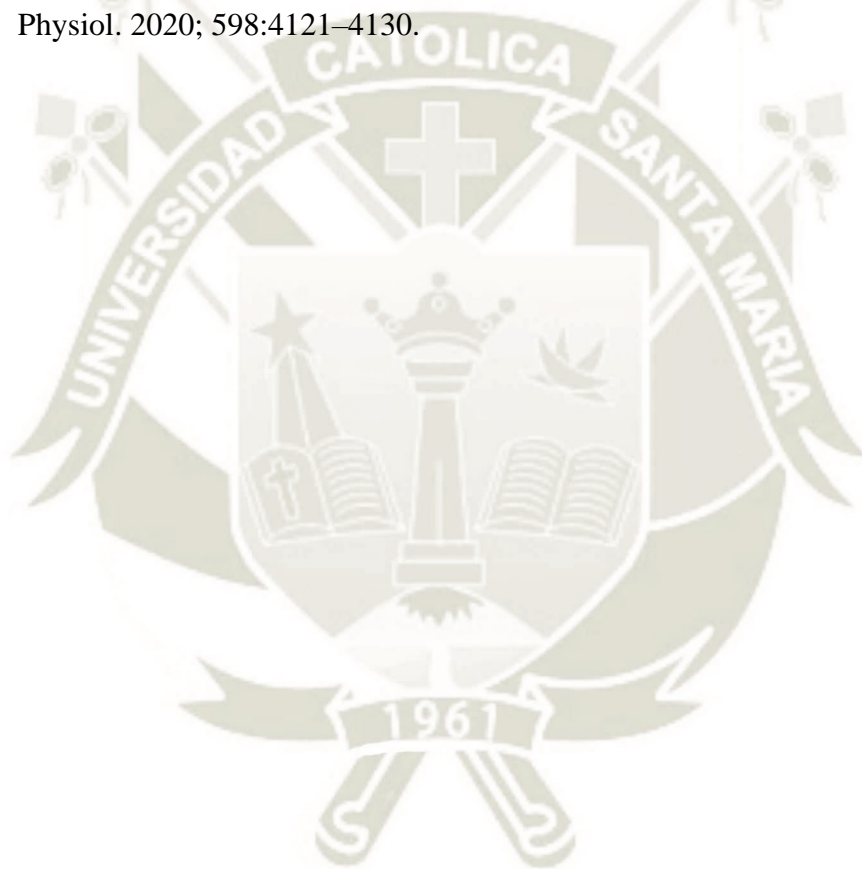
- 2021] doi: <http://www.nutricionhospitalaria.com/pdf/9711.pdf>
10. Organización Mundial de la Salud. Micronutrient deficiencies. Iron deficiency anaemia. 2019. [Fecha de acceso: 14 setiembre, 2021] doi: <http://www.who.int/nutrition/topics/ida/en/>
  11. Stembridge, M., WillisMA, AM., Gasho, C., Dawkins, TG., Drane, A., Villafuerte, FC., Levine, BD., Shave, R., Ainslie, PN. The overlooked significance of plasma volume for successful adaptation to high altitude in Sherpa and Andean natives. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2019; 116(33): 16177-16179. [Fecha de acceso: 14 setiembre, 2021] doi: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/es/mdl-31358634>
  12. Galindo, M. Estudio de la saturación de oxígeno a través de pulsioximetría en mujeres deportistas. [Tesis para optar el Grado de Doctor] Universidad Complutense de Madrid. Madrid, 2017. [Fecha de acceso: 14 setiembre, 2021] doi: <https://eprints.ucm.es/id/eprint/44966/1/T39318.pdf>
  13. Guyton, A., Hall, J. Tratado de fisiología médica. 14 ava edición. España: Elsevier S.A. 2021.
  14. Jeong, C. et al., Detectando la selección natural pasada y en curso entre mujeres étnicamente tibetanas a gran altura en Nepal. *PLoS Genet*. 2018; 14, e1007650.
  15. Simonson, TS et al. La baja concentración de hemoglobina en los hombres tibetanos se asocia con una mayor capacidad de ejercicio a gran altitud. *J. Physiol*. 2015;593: 3207 – 3218.
  16. Stembridge, M., WillisMA, A., Gasho, C., Dawkins, T., Drane, A. The overlooked significance of plasma volume for successful adaptation to high altitude in Sherpa and Andean natives. *PNAS*. 2020; 116 (33) 16177-16179. [Fecha de acceso: 19 setiembre, 2021] doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.1909002116>
  17. Beall, C. M. et al. Natural selection on EPAS1 (HIF2alpha) associated with low hemoglobin concentration in tibetan highlanders. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2010; 107, 11459–11464.
  18. Buys, MC., Guerra, L., Bejarano, I. Variaciones eritrocitarias en poblaciones residentes a diferentes niveles altitudinales (Provincia de Jujuy). *HEMATOLOGÍA*. 2017; 21 N° Extraordinario: 371-379. XXIII Congreso Argentino de Hematología.
  19. Gonzales, G. Hemoglobina y Testosterona: Importancia en la Aclimatación y

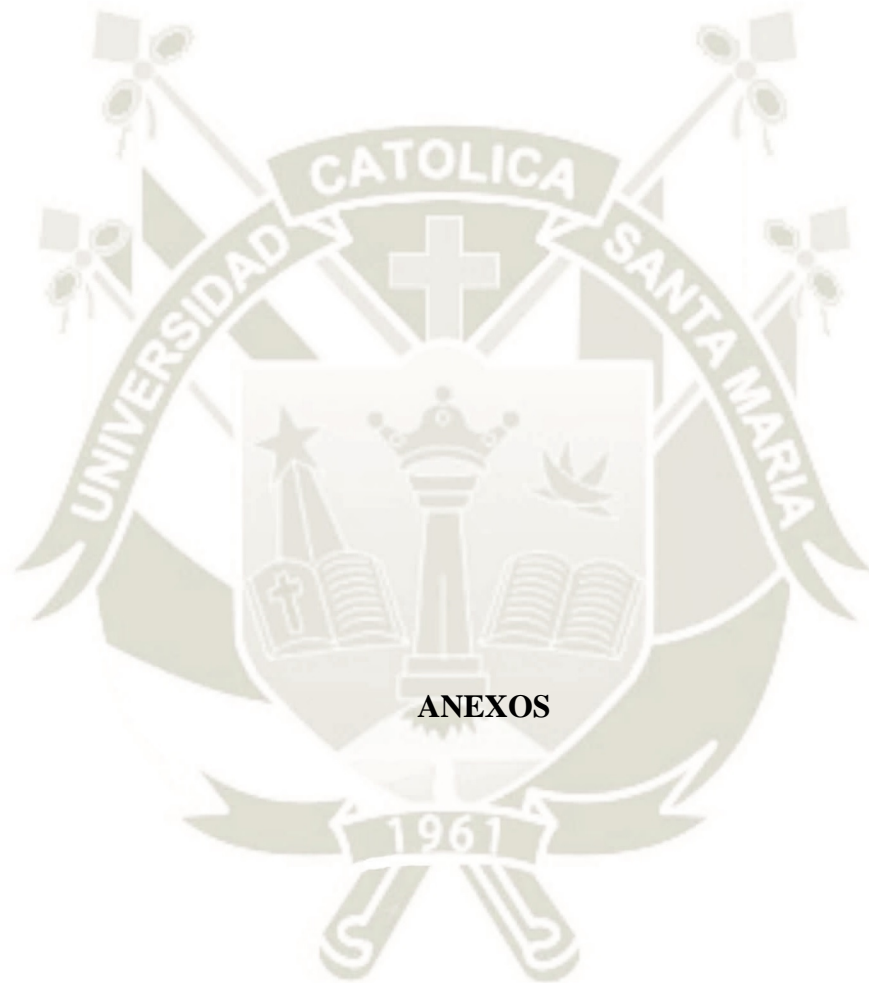
- Adaptación a la Altura. *Rev Peru Med Exp Salud Pública*. 2011; 28(1):92-100.
20. Beall C, Cavalleri G, Deng L y col. Natural selection on EPAS (HIF2a) associated with low hemoglobin concentration in Tibetan highlanders. *PNAS*. 2010; 107(25):11459-11464.
  21. Cifuentes-Faura, J. Infection, treatment and virological features of SARS-CoV-2. A brief overview. *Rev. Fac. Med. (Bogotá)*. 2021; 69(1): e302. Fecha de acceso: 16 febrero, 2022] doi: <http://www.scielo.org.co/scielo.php>
  22. Khalid, S, Siddique, R, Shaheen, S, Shahid, MN, Shamim, Z, Khan, MKA, Serçe, U. Current understanding of an Emerging Coronavirus using in silico approach: Severe Acute Respiratory Syndrome-Coronavirus-2 (SARS-CoV-2). *Braz. j. biol.* 2022; 83: e247237. [Fecha de acceso: 16 febrero, 2022] doi: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.247237>
  23. Singhal, T. A review of coronavirus disease-2019 (COVID-19). *Indian Journal of Pediatrics*. 2020; 87 (4): 281. [Fecha de acceso: 16 febrero, 2022] doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s12098-020-03263-6>
  24. World Health Organization. Report of the WHO-China Joint Mission on Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). 2020. [Fecha de acceso: 21 febrero, 2022] doi: <https://www.who.int/docs/defaultsource/coronaviruse/who-china-joint-mission-on-covid19-final-report.pdf>
  25. Hayes, G. Revealed: the long-term severe effects of Covid-19 that could go on for months. *The Telegraph*. 2020. [Fecha de acceso: 21 febrero, 2022] doi: <https://www.telegraph.co.uk/global-health/science-and-disease/revealed-long-termsevereffects-covid-19-can-go-months/>
  26. Oran, DP, Topol EJ. Prevalence of Asymptomatic SARS-CoV-2 Infection. *Ann Intern Med*. 2020; 173: 362-7. [Fecha de acceso: 21 febrero, 2022] doi: 10.7326/M20-3012.
  27. Casas-Rojo, JM., Antón-Santos, JM., Millán-Núñez, J., Lumbreras-Bermejo, C., Ramos-Rincón, JM., Roy-Vallejo, E., et al. Clinical characteristics of patients hospitalized with COVID-19 in Spain: Results from the SEMI-COVID-19 Registry. *Rev Clin Esp*. 2020; 220: 480-94. [Fecha de acceso: 21 febrero, 2022] doi: 10.1016/j.rce.2020.07.003.
  28. Berenguer, J., Ryan, P., Rodríguez-Baño, J., Jarrín, I., Carratalà, J., Pachón, J., et al. Characteristics and predictors of death among 4,035 consecutively hospitalized patients with COVID-19 in Spain. *Clin Microbiol Infect*. 2020; 26:

- 1525-36. [Fecha de acceso: 21 febrero, 2022] doi: 10.1016/j.cmi.2020.07.024
29. Villar Álvarez, F; López Yeste, P; Lazo Meneses, P. Fases clínicas de la COVID-19. Diagnóstico diferencial. *Rev. patol. Respir.* 2020; 23(supl.3): S256-S262. [Fecha de acceso: 21 febrero, 2022] doi: <https://www.revistadepatologiaspiratoria.org/descargas>
30. Zhou, F., Yu, T., Du, R., Fan, G., Liu, Y., Liu, Z., et al. Clinical course and risk factors for mortality of adult inpatients with COVID-19 in Wuhan, China: a retrospective cohort study. *Lancet* 2020; 395: 1054-62. [Fecha de acceso: 21 febrero, 2022] doi: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30566-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30566-3)
31. Hani, C., Trieu, NH., Saab, I., Dangeard, S., Bennani, S., Chassagnon, G., et al. COVID-19 pneumonia: A review of typical CT findings and differential Diagnosis. *Diagnostic and Interventional Imaging.* 2020; 101: 263-8. [Fecha de acceso: 21 febrero, 2022] doi: 10.1016/j.diii.2020.03.014.
32. Siddiqi, HK., Mehra, MR. COVID-19 illness in native and immunosuppressed states: A clinical-therapeutic staging proposal. *J Heart Lung Transplant.* 2020; 39: 405-7. [Fecha de acceso: 21 febrero, 2022] doi: 10.1016/j.healun.2020.03.012.
33. Jin, YH, Cai, L., Cheng, Z.S., Cheng, H., et al. Evidence-Based Medicine Chapter of China International Exchange and Promotive Association for Medical and Health Care (CPAM), 2020. A rapid advice guideline for the diagnosis and treatment of 2019 novel coronavirus [2019-nCoV] infected pneumonia. *Military Medical Research*, 2020; 7 (1): 4. [Fecha de acceso: 21 febrero, 2022] doi: <http://dx.doi.org/10.1186/s40779-020-0233-6>
34. Chen, Y., Liu, Q., Guo, D. Emerging coronaviruses: genome structure, replication, and pathogenesis. *Journal of Medical Virology.* 2020; 92 (4): 418-423. [Fecha de acceso: 16 febrero, 2022] doi: <http://dx.doi.org/10.1002/jmv.25681>
35. Russell, CD., Millar, J.E., Baillie, J.K. Clinical evidence does not support corticosteroid treatment for 2019-nCoV lung injury. *Lancet.* 2020; 395 (10223): 473-475. [Fecha de acceso: 16 febrero, 2022] doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30317-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30317-2)
36. Our world in data. Coronavirus (COVID-19) Vaccinations. 2021. [Fecha de acceso: 16 febrero, 2022] doi: <https://ourworldindata.org/covid-vaccinations>
37. Buddha, GT. Capitulo 51. Mal de las alturas. En: Longo, DL., Kasper, DL.,

- Jameson, JL, Fauci, A., Hauser, SL., Loscalzo, J. Harrison. Principios de Medicina Interna, 19e. España: Mac Graw Hill Interamericana Editores S.A. 2016.
38. Talks, BJ., Campbell, C., Larcombe, SJ., Marlow, L., Finnegan, SL., Lewis, CT., Lucas, S., Harrison, OK., Pattinson, KS. Baseline Psychological Traits Contribute to Lake Louise Acute Mountain Sickness Score at High Altitude. *High Alt Med Biol.* 2022; 23(1): 69-77. [Fecha de acceso: 4 abril, 2022] doi: <https://doi.org/10.1089/ham.2021.0073>
39. Luks, AM., Hackett, PH. Medical Conditions and High-Altitude Travel. *N Engl J Med.* 2022; 386(4): 364-373. [Fecha de acceso: 4 abril, 2022] doi: <https://www.nejm.org/doi/10.1056/NEJMra2104829>
40. Garrido, E., Botella de Maglia, J., Castillo, O. Acute, subacute and chronic mountain sickness. *Rev Clin Esp.* 2021; 221 (8): 481 – 490. [Fecha de acceso: 4 abril, 2022] doi: <https://doi.org/10.1016/j.rce.2019.12.013>.
41. Santos-Martínez, LE., Gómez-Tejada, RA., Murillo-Jauregui, CX., Hoyos-Paladines, RA., Poyares-Jardim, C., Orozco-Levi, M. Chronic exposure to altitude. Clinical characteristics and diagnosis. *Arch Cardiol Mex.* 2021; 91(4): 500-507. [Fecha de acceso: 4 abril, 2022] doi: 10.24875/ACM.20000447
42. León-Velarde, F., Maggiorini, M., Reeves, JT., Aldashev, A., Asmus, I., Bernardo, L., et al. Consensus statement on chronic and subacute high altitude diseases. *High Alt Med Biol.* 2005;6(2):147-57.
43. Escobar, C. Saturación de oxígeno en mujeres en edad fértil a más de 3600 msnm, Castrovirreyna – Huancavelica, 2021. [Tesis para optar el título de especialista en emergencias y Alto Riesgo Obstétrico]. Universidad Nacional de Huancavelica. Huancavelica, 2021. [Fecha de acceso: 21 setiembre, 2021] doi: <https://repositorio.unh.edu.pe/>
44. Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). Arequipa resultados definitivos. Lima, 2018. [Fecha de acceso: 30 setiembre, 2021] doi: <https://www.inei.gob.pe/media>
45. Ministerio de Salud. Procedimiento para la determinación de la hemoglobina mediante hemoglobínometro portátil. Lima, 2013. [Fecha de acceso: 5 abril, 2022] doi: <https://web.ins.gob.pe/sites/default/files/Archivos>
46. Lechuga, T. J. Procedimiento para la determinacion de la hemoglobina mediante hemoglobínometro portatil. Retrieved November 5, 2020. [Fecha de acceso: 15

- setiembre, 2021] doi: <https://web.ins.gob.pe/sites/default/files/Archivos/cenan/>
47. Huamaní, C., Sarmiento, W., Cordova-Heredia, G., Cruz-Huanca, L., Damian-Saavedra, P., Antonio, D. Prediction of Blood Viscosity Based on Usual Hematological Parameters in a Clinically Healthy Population Living in a High-Altitude City. *High Alt Med Biol.* 2022; 23(1): 78-84. doi: [Fecha de acceso: 02 mayo, 2022]
48. Stauffer, E., Loyrion, E., Hanco, I., Waltz, X., Ulliel-Roche, M., Oberholzer, L., Robach, P., Pichon, A., Brugniaux, JV., Bouzat, P., Doutreleau, S., Connes, P., Verges, S. Blood viscosity and its determinants in the highest city in the world. *J Physiol.* 2020; 598:4121–4130.





**ANEXOS**

## ANEXO 1

### CONSENTIMIENTO INFORMADO

Yo,.....,

Acepto participar voluntariamente en este estudio de investigación, que realizan la señorita Dávila Agramonte Deyna Kareem y el señor Quispe Villanueva Mario Joel, alumnos de la Facultad de Medicina de la Universidad Católica de Santa María, asimismo señalo que he recibido información acerca del objetivo de este estudio. He comprendido las explicaciones que se me han brindado y he tenido oportunidad de resolver las dudas y preguntas que he realizado y mi participación en el mismo. También comprendo que mi participación consiste en permitir que se me realice la prueba de la saturación de oxígeno y de hemoglobina y hematocrito, para lo cual será necesario que se me extraiga una pequeña muestra de sangre; además, deberé brindar respuesta a la información que me sea solicitada. Señaló que en cualquier momento y sin necesidad de dar ninguna explicación, puedo revocar el consentimiento que ahora presento. También he sido informado /a que los datos proporcionados serán protegidos y serán utilizados únicamente con fines de investigación.

Tomando todo ello en consideración y en tales condiciones, CONSIENTO participar en el estudio de Investigación: **Determinación de los valores de saturación de oxígeno, hemoglobina y hematocrito de pobladores mayores de edad residentes de diferentes niveles altitudinales de la Región, Arequipa. 2022**, considerando que los datos que se deriven de mi participación sean utilizados para cubrir los objetivos especificados en el documento.

Arequipa.....de abril del 2022.

\_\_\_\_\_

Nombre:

DNI :

## ANEXO 2

### GUÍA DE OBSERVACIÓN

Número:..... Fecha:.....

Investigador

responsable:.....

1. Localidad:.....

- Zona costera     Zona alto costera     Zona baja serrana     Zona serrana  
 Zona altoandina y puna

2. Saturación de oxígeno:.....%

3. Hemoglobina:.....g/dL

4. Hematocrito:.....%

5. Edad:.....

6. Sexo:     Masculino     Femenino

7. Ha nacido en zona de altura:     Si     No

Lugar de nacimiento: .....

8. Estado nutricional: Peso:..... Talla:..... IMC:.....

Peso bajo: menos de 18,5     Peso normal: 18,5 – 24,9

Sobrepeso: 25 – 29,9     Obesidad: 30 a más

9. Consumo de carnes rojas al menos dos veces por semana:  Si     No

10. Consumo de carne tipo charqui (carne de res, oveja, alpaca)  Si     No

11. Con qué frecuencia consume carne tipo charqui?

Menos de dos veces por semana

Más de dos veces por semana

12. Consume menestras al menos una vez por semana:  Si     No

13. Antecedentes de Enfermedad Pulmonar:

✓ TBC :     Si     No

✓ Covid 19 en UCI:     Si     No

✓ EPOC:     Si     No

✓ EPID :     Si     No

14. Ha recibido vacunas covid 19:  Si     No     Número de dosis:.....

### ANEXO 3

#### PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA SATURACIÓN DE OXÍGENO

- ❖ Indicar a la persona que se siente cómodamente cerca al área de trabajo, las sillas que deben tener espaldar que de soporte y deberá permanecer sentada al menos cinco minutos.
- ❖ Sujetar la mano derecha de la persona, asegurar que este relajado y caliente al tacto, verificar que las uñas no tengan esmalte.
- ❖ Colocar el equipo en el dedo índice, ubicando el fotodiodo emisor de luz (luz roja) hacia el lecho ungueal y el fotodiodo receptor (que no emite luz) en el extremo totalmente opuesto (en línea paralela) hacia el pulpejo del dedo.
- ❖ Si existe exceso de luz ambiental, se debe cubrir el sensor.
- ❖ Verificar que el sitio de medición se encuentre bien perfundido, no vasocontraído, ni frío, con la piel seca, no sudorosa y evitando cualquier presión sobre el lugar de la medición.
- ❖ Evitar artefactos de movimiento tratando que el paciente esté lo más tranquilo posible durante la medición y en posición sentada.
- ❖ Una vez colocado el sensor, se debe evaluar en la pantalla del equipo la estabilidad de la curva pletismográfica o de la señal luminosa, verificando que ésta sea constante en intensidad y en el ritmo.
- ❖ Realizar lectura de la saturación y de la frecuencia cardíaca y registrarla donde corresponda.

## ANEXO 4

PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICIÓN DE HEMOGLOBINA Y  
HEMATOCRITO

- ❖ Indicar a la persona que se siente cómodamente cerca al área de trabajo, las sillas que deben tener espaldar que de soporte.
- ❖ Sujetar la mano derecha de la persona, asegura que este relajado y caliente al tacto.
- ❖ Escoger el dedo medio o anular para realizar la punción, masajear repetidas veces el pulpejo del dedo, hacia la zona de punción para incrementar la circulación sanguínea.
- ❖ Limpiar la zona de punción con una bolita de algodón humedecida en alcohol desde la porción proximal hasta la porción distal de la zona de punción del dedo con cierta precisión una vez y sin usar la cara de la torunda que ya fue expuesta a la piel, esto con el fin de conseguir el “arrastre” de posibles gérmenes existentes.
- ❖ Dejar evaporar los residuos de alcohol de la zona de punción, esto permite que la acción antiséptica del alcohol pueda hacer efecto además evita que los residuos de alcohol se mezclen con la sangre y produzcan hemolisis.
- ❖ Para hacer la punción capilar, para lo cual se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:
  - Tomar lanceta retráctil con los dedos índice, medio y pulgar, y sujetarla fuertemente.
  - Asegurar el dedo este recto, extendido y relajado a fin de evitar que se produzca “estasis sanguínea.”
  - Considerar que la superficie externa de la lanceta no es estéril, por lo tanto, no debe realizar tanteos en la zona desinfectada del dedo.
  - El sitio recomendado es la superficie palmar de la falange distal (segmento final del dedo). La punción no debe hacerse en la punta del dedo ni en el tejido que hay alrededor del centro de este, debe ser perpendicular a las huellas digitales.
  - Realizar la punción en un solo contacto.
  - Asegura que la mano este ubicada por debajo del corazón así mismo que el brazo permanezca extendido.
- ❖ Eliminar la lanceta utilizada en la bolsa roja de bioseguridad o en un recipiente rígido de plástico o propileno (46).

ANEXO 5

AJUSTE DE HEMOGLOBINA SEGÚN LA ALTURA

Para la corrección por altura se usará la siguiente tabla: (46)

Altud	Ajuste por altud	Para hallar hemoglobina ajustada	Para hallar hemoglobina observada:	Altud	Ajuste por altud	Para hallar hemoglobina ajustada	Para hallar hemoglobina observada:
1000	0,1	= Hb observada - 0,1	= Hb ajustada + 0,1	3100	2,0	= Hb observada - 2,0	= Hb ajustada + 2,0
1100	0,2	= Hb observada - 0,2	= Hb ajustada + 0,2	3200	2,1	= Hb observada - 2,1	= Hb ajustada + 2,1
1200	0,2	= Hb observada - 0,2	= Hb ajustada + 0,2	3300	2,3	= Hb observada - 2,3	= Hb ajustada + 2,3
1300	0,3	= Hb observada - 0,3	= Hb ajustada + 0,3	3400	2,4	= Hb observada - 2,4	= Hb ajustada + 2,4
1400	0,3	= Hb observada - 0,3	= Hb ajustada + 0,3	3500	2,6	= Hb observada - 2,6	= Hb ajustada + 2,6
1500	0,4	= Hb observada - 0,4	= Hb ajustada + 0,4	3600	2,7	= Hb observada - 2,7	= Hb ajustada + 2,7
1600	0,4	= Hb observada - 0,4	= Hb ajustada + 0,4	3700	2,9	= Hb observada - 2,9	= Hb ajustada + 2,9
1700	0,5	= Hb observada - 0,5	= Hb ajustada + 0,5	3800	3,1	= Hb observada - 3,1	= Hb ajustada + 3,1
1800	0,6	= Hb observada - 0,6	= Hb ajustada + 0,6	3900	3,2	= Hb observada - 3,2	= Hb ajustada + 3,2
1900	0,7	= Hb observada - 0,7	= Hb ajustada + 0,7	4000	3,4	= Hb observada - 3,4	= Hb ajustada + 3,4
2000	0,7	= Hb observada - 0,7	= Hb ajustada + 0,7	4100	3,6	= Hb observada - 3,6	= Hb ajustada + 3,6
2100	0,8	= Hb observada - 0,8	= Hb ajustada + 0,8	4200	3,8	= Hb observada - 3,8	= Hb ajustada + 3,8
2200	0,9	= Hb observada - 0,9	= Hb ajustada + 0,9	4300	4,0	= Hb observada - 4,0	= Hb ajustada + 4,0
2300	1,0	= Hb observada - 1,0	= Hb ajustada + 1,0	4400	4,2	= Hb observada - 4,2	= Hb ajustada + 4,2
2400	1,1	= Hb observada - 1,1	= Hb ajustada + 1,1	4500	4,4	= Hb observada - 4,4	= Hb ajustada + 4,4
2500	1,2	= Hb observada - 1,2	= Hb ajustada + 1,2	4600	4,6	= Hb observada - 4,6	= Hb ajustada + 4,6
2600	1,3	= Hb observada - 1,3	= Hb ajustada + 1,3	4700	4,8	= Hb observada - 4,8	= Hb ajustada + 4,8
2700	1,5	= Hb observada - 1,5	= Hb ajustada + 1,5	4800	5,0	= Hb observada - 5,0	= Hb ajustada + 5,0
2800	1,6	= Hb observada - 1,6	= Hb ajustada + 1,6	4900	5,2	= Hb observada - 5,2	= Hb ajustada + 5,2
2900	1,7	= Hb observada - 1,7	= Hb ajustada + 1,7	5000	5,5	= Hb observada - 5,5	= Hb ajustada + 5,5
3000	1,8	= Hb observada - 1,8	= Hb ajustada + 1,8				

Reference values for oxygen saturation from sea level to the highest human habitation in the Andes in acclimatised persons

- 99 (98–99) at 154 m
- 99 (98–99) at 562 m
- 98 (97–99) at 1400 m
- 97 (96–98) at 2000 m
- 97 (96–99) at 2335 m
- 96 (95–97) at 2500 m
- 95 (94–96) at 2880 m
- 94 (92–95) at 3250 m
- 92 (90–93) at 3600 m
- 90 (88–91) at 3950 m
- 87 (85–89) at 4100 m
- 87 (85–89) at 4338 m
- 87 (85–89) at 4500 m
- 85(83–88) at 4715 m
- 81 (78–84) at 5100 m.

Recomendado

Thorax 2017;0:1–3.  
doi:10.1136/thoraxjnl-2017-210598

**Tabla N° 1: Variación de la saturación de oxígeno con la altitud**

Estado de saturación de oxígeno según la altura sobre el nivel del mar						
m.s.n.m	Nivel del mar	1000	3000	3400	3600	3900
Normal	95-100	92-99	88-96	87-95	84-93	83-92
Hipoxemia	<95	<92	<88	<87	<84	<83

Adaptado y reproducido de Grajeda Ancca, Pablo – “Estadios de saturación de Oxígeno según altura” DIRESA Cusco. EsSalud. Guía de Práctica Clínica Para el Manejo de COVID-19. Julio 2021. Rojas-Camayo et al. Reference values for oxygen saturation from sea level to the highest human habitation in the Andes in acclimatized persons. Thorax, 2017.