

Valores gasométricos en población adulta y adulta mayor residente de gran altitud

Gasometric values in adult population and elderly in high altitude resident

Walter Calderón Gerstein^{1,3,a}, Olivia López Martínez^{2,b}

¹ Servicio de Medicina, Hospital Nacional Ramiro Prialé Prialé. Huancayo, Perú.

² Unidad de Cuidados Intensivos, Hospital Nacional Ramiro Prialé Prialé. Huancayo, Perú.

³ Universidad Continental. Huancayo, Perú.

^a Médico internista, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5187-7705>

^b Médico intensivista

An Fac med. 2020;81(2):154-60. / DOI: <https://doi.org/10.15381/anales.v81i2.18032>

Correspondencia:

Walter Calderón Gerstein
waltercalderon2002@yahoo.com

Recibido: 16 de mayo 2020

Aceptado: 28 de junio 2020

Publicación en línea: 30 de junio 2020

Conflictos de interés: Los autores declaran no tener conflictos de interés.

Fuente de financiamiento: Los reactivos y equipos de gases arteriales fueron financiados por LabDealers S.A. y Laboratorios Roche.

Contribuciones de autoría: WC concibió la idea del estudio. OL y WC participaron en el diseño, recolección de datos, análisis, interpretación y redacción del manuscrito.

Citar como: Calderón W, López O. Valores gasométricos en población adulta y adulta mayor residente de gran altitud. An Fac med. 2020;81(2):154-60. DOI: <https://doi.org/10.15381/anales.v81i2.18032>

Resumen

Introducción. Los valores de gases arteriales y electrolitos sufren modificaciones en la altura, las que pueden alterar la evaluación diagnóstica y pronóstica de ciertas enfermedades. **Objetivos.** Determinar los valores de gases arteriales y electrolitos en pobladores adultos y adultos mayores sanos que viven en gran altitud. **Métodos.** Estudio prospectivo, descriptivo, realizado en una población de adultos y adultos mayores, sanos, voluntarios, en el Hospital Nacional Ramiro Prialé Prialé de EsSalud, Huancayo, ciudad localizada a 3250 metros sobre nivel del mar, cuya presión barométrica es de 515 mmHg, a quienes se le tomó muestras de sangre arterial, las cuales se procesaron en el analizador de gases arteriales Roche Omni C. Las variables fueron analizadas con ANOVA y los análisis estadísticos con Excel y SPSS. **Resultados.** Fueron evaluadas 105 personas de 30 a 87 años. El promedio de las variables analizadas fue: hemoglobina $15,46 \pm 2$, presión arterial de oxígeno $59,27 \pm 6,9$, saturación de hemoglobina $91,7 \pm 3,2$, pH $7,46 \pm 0,28$, presión arterial de CO₂ $28,68 \pm 4,15$, bicarbonato $20,54 \pm 2,86$, sodio $143,43 \pm 5,6$, potasio $3,56 \pm 0,5$ mEq/L. Por cada año de vida, el PaO₂ disminuyó en 0,556 mmHg, la saturación de oxígeno en 0,484%, y el pO₂/FiO₂ en 0,556. **Conclusiones.** Los hallazgos demuestran que en altura existe variación tanto de gases arteriales como de electrolitos, los cuales se acentúan con la edad y deberían ser considerados para el manejo de pacientes por encima de los 3000 msnm.

Palabras clave: Gasometría Arterial; Altitud; Adulto; Adulto Mayor (fuente: DeCS BIREME).

Abstract

Introduction. Arterial blood gas and electrolyte values undergo changes in high altitude, which can alter the diagnostic and prognostic evaluation of certain diseases. **Objective.** To determine the values of arterial gases and electrolytes in healthy adults and older adults in high altitude resident. **Methods.** Prospective, descriptive study, carried out with a population of healthy adults and elderly volunteers, at Ramiro Prialé Prialé National Hospital in EsSalud - Huancayo, a city located 3250 meters above sea level, whose barometric pressure is 515 mmHg. Arterial blood samples were taken from subjects and processed with Roche Omni C arterial gas analyzer. Continuous variables were analyzed with ANOVA and statistical analysis performed with Excel and SPSS. **Results.** 105 people from 30 to 87 years old were evaluated. The average of the analyzed variables was: hemoglobin $15,46 \pm 2$, blood oxygen pressure $59,27 \pm 6,9$, hemoglobin saturation $91,7 \pm 3,2$, pH $7,46 \pm 0,28$, blood pressure of CO₂ $28,68 \pm 4,15$, bicarbonate $20,54 \pm 2,86$, sodium $143,43 \pm 5,6$, potassium $3,56 \pm 0,5$ mEq / L. For each year of life, PaO₂ decreased by 0,556 mmHg, oxygen saturation by 0,484%, and pO₂ / FiO₂ by 0,556. **Conclusions.** There is variation of both arterial gases and electrolytes at high altitude, which is accentuated with age and should be considered for the management of patients above 3000 masl.

Keywords: Blood Gas Analysis; Altitude; Adult; Aged (source: MeSH NLM).

INTRODUCCIÓN

En la región andina del país, correspondiente a los Andes centrales de Sudamérica, localizada entre los 6 y 15 grados de latitud sur, vivían cerca de 8 millones de habitantes en la década pasada ⁽¹⁾. Esta población vive a alturas superiores a los 2400 metros sobre el nivel del mar (msnm), nivel por encima del cual se observa una disminución significativa en la presión barométrica, que condiciona una menor concentración de oxígeno ambiental. El poblador andino se ha adaptado a las grandes alturas mediante el incremento de la concentración de hemoglobina, el aumento de la frecuencia respiratoria, la mayor amplitud de la caja torácica, la disminución de la sensibilidad a la hipoxia y el mayor desarrollo de los músculos respiratorios, entre otros ⁽¹⁾. Estas adaptaciones serían responsables en parte de la aparente mejor tolerancia a la infección por SARS-Cov2 (Covid-19) observada en los habitantes de altura ⁽²⁾.

Las personas en la altura respiran un aire con menor contenido total de moléculas gaseosas. La pérdida de concentración de oxígeno en los alvéolos causa la activación de los mecanismos compensatorios, y a largo tiempo, una adecuación para poder obtener todo el oxígeno necesario que le permita al poblador de altura llevar una vida normal ⁽²⁾. Así, la medición de los gases arteriales debe diferir entre pobladores de la costa y de la sierra. Los estudios de valores de referencia para ciudades a nivel del mar no son aplicables a estas poblaciones.

Diversos estudios han evaluado los valores normales de gases arteriales en la altura ^(3,4); del mismo modo, se conocen los valores en ciudades del Perú como Cerro de Pasco (4380 msnm)⁽⁵⁾ o Cuzco (3350 msnm) ⁽⁶⁾. En el 2003 Yumpo realizó un estudio con 20 individuos jóvenes entre 18 y 35 años en la ciudad de Huancayo, obteniendo ciertos valores referenciales para este grupo poblacional ⁽⁷⁾. Sin embargo, se desconocen los valores gasométricos para adultos mayores de 40 años y para adultos mayores, dato de suma importancia ya que la mayoría de pacientes que acuden a los servicios de emergencia con insuficiencia respiratoria pertenecen a este grupo etéreo.

Considerando que gran parte de la población asegurada que ingresa a la Unidad de Cuidados Intensivos Generales del Hospital Nacional Ramiro Prialé Prialé (HNRPP) de Huancayo, Perú, es adulta mayor, es importante conocer los valores gasométricos normales en todos los grupos etéreos. El presente artículo tiene como objetivo describir los valores gasométricos normales en el poblador de altura según los diferentes grupos etéreos, entre los 30 y 87 años, determinar los valores promedio de la gradiente alveolar arterial de oxígeno y determinar la relación entre la presión arterial de oxígeno y la fracción de oxígeno inspirado según edad, para el poblador residente a gran altitud.

MÉTODOS

Diseño del estudio

Se realizó un estudio observacional, descriptivo y transversal en el Hospital Nacional Ramiro Prialé Prialé de Huancayo, EsSalud, Perú, ubicado a 3250 msnm. La toma de muestras se llevó a cabo desde el mes de mayo del 2008 y duró aproximadamente diez meses hasta reunir una población de 105 personas.

Población y muestra

El muestreo fue por conveniencia, realizándose la toma de muestras cuando el investigador principal se encontraba programado en su labor asistencial. La temperatura máxima durante el período de toma de muestras fue de 19 °C, llegando la mínima a 14 °C, con un promedio de temperatura de 18°C y con una presión barométrica promedio de 515 mmHg. La población de estudio estuvo integrada por todos los sujetos sanos que acudieron a la Unidad de Cuidados Intensivos Generales del Hospital Nacional Ramiro Prialé Prialé de Huancayo, a visitar a sus familiares hospitalizados. La modalidad fue voluntaria y cada participante fue informado previamente y firmó un consentimiento informado.

Se consideraron como criterios de exclusión: edad menor a 30 años; presencia de comorbilidad cardiopulmonar: insuficiencia cardíaca, hipertensión pulmonar, arritmia ventricular o supraventricular

crónica, asma, enfermedad valvular, EPOC (enfermedad pulmonar obstructiva crónica), cor pulmonale, cardiopatía isquémica, angina estable; síndrome coronario agudo, neumonía o sepsis en últimos 6 meses; desorden cerebrovascular en últimos 12 meses; insuficiencia renal, hepatopatía crónica, diabetes mellitas, hipotiroidismo e hipertiroidismo; antecedente de neoplasia, hemorragia digestiva, trastorno de la coagulación o anemia; haber viajado a zonas de menor o mayor altitud en últimos tres meses; no ser atletas ni practicar deportes más de dos veces por semana.

Se realizó una evaluación clínica exhaustiva por parte de un médico internista para verificar que los sujetos no presentaran ninguna patología crónica o aguda al momento del estudio. Se consignaron los siguientes datos en todos los pacientes: lugar de nacimiento, lugar de residencia habitual, edad y sexo, ocupación, actividad física promedio, peso, talla, índice de masa corporal y circunferencia abdominal.

Toma de muestras

La toma de muestras fue realizada por 3 enfermeras expertas en el servicio de UCI del HNRPP EsSalud, Huancayo. Cada paciente estuvo en reposo por 5 minutos antes de la toma de muestra y durante el llenado de la ficha clínica. Previamente se realizó el test de Allen modificado para asegurar la presencia de buena circulación colateral en la mano. Se extrajeron uno a dos mililitros de sangre de la arteria radial según guía de toma de muestra de Laboratorios Roche. El protocolo para la toma de muestras se ajustó a la guía de obtención de muestras para análisis de gases arteriales de la Asociación Americana de Cuidados Respiratorios (American Association of Respiratory Care, AARC) ^(8,9) y a la Guía proporcionada por LabDealers S.A. Antes de realizar el análisis se mezcló homogéneamente la sangre y se descartó la primera gota de sangre.

Equipo y materiales utilizados

El equipo utilizado fue el analizador de gases arteriales Roche Omni C. proporcionado por LabDealers y Laboratorios Roche. Este equipo utiliza un sistema óptico con cuatro diferentes longitudes

de onda y fue capaz de medir el hematocrito por conductividad, otorgando determinaciones de sodio, potasio, cloro calcio iónico, saturación de oxígeno, PaO_2 , PaCO_2 , bicarbonato y pH, así como la presión barométrica al momento de la toma de muestra. Para el procesamiento se necesitaron tan sólo de 90 microlitros de sangre capilar. Se utilizaron jeringas heparinizadas exclusivamente diseñadas para toma de muestra para gases arteriales (Marquest Quick A.B.G, Vital Signs Co, Colorado, USA), tipo luer lock, con aguja 23 de lumen, 3.0 mililitros de capacidad y un contenido total de 200 UI de heparina liofilizada de litio.

Variables del estudio

Las variables determinadas directamente fueron: presión barométrica, potasio, cloro, calcio iónico, saturación de oxígeno, PaO_2 , PaCO_2 , bicarbonato, pH, hemoglobina, hematocrito, exceso de base. Las variables calculadas fueron: proporción $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$, anion gap, shunt, gradiente alveolo-arterial. La gradiente alveolo arterial fue calculada utilizando la siguiente fórmula: $\text{CaO}_2 = \text{SaO}_2 \times \text{Hb} \times 1,39 + (\text{PaO}_2 \times 0,03)^{(9)}$.

Análisis estadístico

Se analizaron los valores según cada parámetro del estudio. Los valores se presentan en forma de promedio, rango, desviación estándar, intervalo de confianza al 95%, así como valor máximo y mínimo. El cálculo de variables continuas se realizó con la prueba de ANOVA de dos colas; para las variables categóricas con distribución no paramétrica se utilizó la prueba de Chi cuadrado. La comparación con los valores esperados a nivel del mar se realizó directamente en forma absoluta y porcentual. Los resultados se reportan globalmente, así como analizados según grupo etáreo y sexo. Se consideraron valores estadísticamente significativos para $p < 0,05$.

Aspectos éticos

Las personas evaluadas firmaron un consentimiento informado para autorizar la toma de muestra de gases arteriales. Los datos fueron codificados con fines de confidencialidad.

RESULTADOS

La presión barométrica atmosférica fue de 515 mmHg en promedio, según lo determinado por el analizador de gases arteriales. La mayoría de sujetos evaluados fueron de sexo femenino (63,8%, $n = 67$). Todos los pacientes eran de raza mestiza. El 87,6% ($n = 92$) provenía de Huancayo y otras localidades del valle del Mantaro; 8 provenían de Cerro de Pasco y 5 de Tarma. El 49,5% ($n = 52$) de los pacientes eran amas de casa, el 21,9% ($n = 23$) eran cesantes, el 12,3% ($n = 13$) eran profesionales; el 9,5% ($n = 10$) trabajaban como obreros. El peso promedio de los participantes fue de 60,6 kg, la talla media 1,53 metros, con un IMC promedio de 25,08 kg/m^2 (Tabla 1).

El 39% ($n = 41$) reportó haber realizado un viaje de menos de 10 días de duración fuera de la ciudad de Huancayo en los últimos 6 meses. Dieciséis de los pacientes (15,2%) viajaron a Lima; los otros 25 individuos viajaron a localidades de altura como Casapalca ($n = 3$), Tarma ($n = 7$), Huaraz ($n = 3$), La Oroya ($n = 12$). La edad promedio fue de 61,43 años. El 37,1% ($n = 39$) de los pacientes eran adultos mayores. El 43,8% ($n = 46$) tenía entre 61 y 79 años, el 30,4% ($n = 32$) tenía entre 51 y 60 años, 18 pacientes eran menores de 51 años (17%) y 9 eran mayores de 80 años (8,5%).

En relación a la alimentación, 39 (37,1%) señalaron tener una dieta balanceada, 34 (32,3%) una dieta a predominio de carnes, 21 (20%) a predominio de carbohidratos. La mayoría de pacientes se-

ñaló que caminaba diariamente más de 15 minutos (60%, $n = 63$). El 13,3% ($n = 14$) corría una a dos veces por semana, el 11,4% ($n = 12$) monta bicicleta semanalmente; sólo 9 pacientes (8,5%) caminaban menos de tres veces por semana o no realizaban ninguna actividad física.

Los valores promedio de gases arteriales obtenidos fueron: pO_2 59,12 mmHg, pCO_2 28,71 mmHg, saturación de oxígeno 91,64%, pH 7,46 mEq/L, saturación de oxígeno con oxímetro 87,4%, bicarbonato 20,63 mEq/L, sodio 143,59 mEq/L, potasio 3,89 mEq/L, cloro 105,66 mEq/L, lactato 0,66 mEq/L, hematocrito 45,2%, hemoglobina 15,15% (Tabla 2).

Los valores gasométricos calculados fueron los siguientes: presión alveolar de oxígeno 61,82 mmHg, gradiente alveolo arterial 2,67, razón presión arterial de oxígeno/fracción inspiratoria de oxígeno ($\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$) 281,68 (Tabla 2). La gradiente alveolo-arterial hallada fue 2,67 mmHg, inferior a la gradiente esperada según fórmula.

Los valores promedio de gases arteriales obtenidos y calculados se presentan separados según grupo etáreo en la tabla 3. La tabla 4 muestra los valores gasométricos obtenidos y calculados según sexo.

El análisis de regresión lineal reveló que por cada año de vida, el PaO_2 disminuyó en 0,556 mmHg, la saturación de oxígeno en 0,484%, el pO_2/FiO_2 en 0,556, el pH en 0,259; mientras que el sodio se incrementó en 0,53 mEq/L y la gradiente alveolo-arterial aumentó en 0,46 (Tabla 5).

Tabla 1. Características antropométricas y funciones vitales de población adulta y adulta mayor residente de gran altitud (Huancayo, 3250 msnm).

Variable	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Edad	30	87	61,43	14,68
Peso	42,0	72,0	60,60	7,45
Talla	1,43	1,67	1,53	,071
IMC	18,83	28,37	25,08	2,95
Circunferencia Abdominal	72	109	95,81	9,22
Frecuencia Respiratoria	15	20	18	1,8
Frecuencia Cardíaca	64	88	78	0,6

IMC: Índice de masa corporal

Tabla 2. Valores obtenidos y calculados de gases arteriales de población adulta y adulta mayor residente de gran altitud (Huancayo, 3250 msnm).

Variable	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Hemoglobina, gr/Dl	13,5	18,2	15,15	1,39
Hematocrito, %	40	54	45,20	3,88
pO ₂ , mmHg	45,7	73,6	59,15	7,14
pCO ₂ , mmHg	19,7	37,5	28,71	4,32
Saturación O ₂ , %	83,4	96,5	91,64	3,30
SatO ₂ oxímetro, %	83	90	87,40	3,45
pH, mEq/L	7,41	7,52	7,46	,028
Bicarbonato, mEq/L	13,5	23,3	20,63	1,80
Sodio, mEq/L	133	147	143,59	3,25
Potasio, mEq/L	2,6	4,25	3,89	0,28
Cloro, mEq/L	97	110	105,66	4,41
Lactato, mEq/L	0,1	1,6	0,66	0,29
Anion Gap	7	13	8,52	3,41
Presión alveolar O ₂ , mmHg	50,88	73,08	61,82	5,40
Gradiente Aa calculada	-13,90	19,64	2,67	7,39
Gradiente Aa esperada	6,55	18,52	13,15	3,08
CaO ₂ calculado	15,73	22,79	18,75	1,77
pO ₂ /FiO ₂	241	350	281,68	3,08

pO₂: presión arterial de oxígeno; pCO₂: presión arterial de dióxido de carbono; O₂: oxígeno; pH: potencial de hidrogeniones; gradiente Aa: gradiente alveolo arterial de oxígeno; pO₂/FiO₂: razón presión arterial de oxígeno/fracción inspiratoria de oxígeno.

DISCUSIÓN

La presión arterial de oxígeno promedio fue de 59,15 mmHg, similar a los 61,08 mmHg hallados por Pereira y col. en el Cusco⁽⁶⁾ quienes encontraron una saturación de oxígeno similar (91,1% versus 91,64%), así como un bicarbonato inferior (19,74 mEq/L versus 20,64 mEq/L) y una relación paO₂/FiO₂ superior (290,8 versus 281,68).

El valor del pH promedio fue de 7,46, similar al de Yumpo (7,45) quien evaluó a pacientes jóvenes de Huancayo, pero superior al valor de 7,43 hallado en Cerro de Pasco⁽⁵⁾ y Cusco⁽⁶⁾. Los valores promedio de paCO₂ (28,71 mm Hg) fueron similares a los hallados por Yumpo⁽⁷⁾ (29,16 mm Hg), pero inferiores a los reportados en el Cusco (30,62 mm Hg)⁽⁵⁾ y superiores a los registrados en Cerro de Pasco (27,69 mm Hg)⁽⁵⁾. Estos resultados

coinciden con los estudios existentes a la fecha, que señalan que a mayor altitud habrá menor paO₂ y paCO₂, así como una menor relación paO₂/FiO₂ y menores niveles de bicarbonato sérico⁽⁶⁾.

Nuestros hallazgos mostraron que, al igual que al nivel del mar, la relación entre la presión y la fracción inspiratoria de oxígeno (PaO₂/FiO₂) disminuyó con la edad, observándose un PaO₂/FiO₂ de 320 en menores de 40 años y de 252 en mayores de 80 años.

Los valores de sodio se incrementaron gradualmente con la edad, indicando un mayor déficit de agua. Los valores de PaO₂ que en promedio fueron de 59,15 mmHg, disminuyeron gradualmente desde 67,23 mm Hg en aquellos menores de 40 años hasta 53 mmHg en los mayores de 80 años, quienes no presentaron sintomatología de hipoxia a pesar de los valores hallados, lo que podría ser explicado por la disminución de la sensibilidad del cuerpo carotídeo ante la hipoxia, tal como se describe en la literatura⁽¹⁾. La saturación de oxígeno decreció de un promedio de 94,38% en menores de 41 años a 88,7% en mayores de 80 años. No se observaron diferencias en los valores de pH, bicarbonato o paCO₂ con la edad.

Pereira y col., en el Cusco, hallaron que después de los 20 años, la pO₂ disminuyó anualmente en 0,122 mmHg, la saturación de oxígeno en 0,05% y la relación pO₂/FiO₂ en 0,571 mmHg, elevándose la pCO₂ en 0,056 mmHg anualmente, sin afectación del bicarbonato⁽⁶⁾. En nuestros pacientes, a 3250 msnm, no hubo variación significativa en los valores de paCO₂ ni bicarbonato con la edad; sin embargo,

Tabla 3. Valores obtenidos y calculados de gases arteriales de población adulta y adulta mayor residente de gran altitud (Huancayo, 3250 msnm), según grupo etáreo.

Grupos Etáreos	PO ₂	Sat O ₂ (%)	Sodio	Diferencial gradiente	Gradiente AaO ₂	paO ₂ /FiO ₂
40 años o <	67,23	94,38	135,8	9,32	-1,90	320,16
41 – 50 años	61,12	93,35	141,7	9,01	-0,15	291,07
51 – 60 años	61,64	92,77	143,3	11,26	0,67	293,56
61 – 70 años	58,20	90,93	144,2	13,45	0,22	277,18
71 – 80 años	54,81	90,18	146,6	7,77	8,39	261,02
>80 años	53,05	88,70	144,8	7,54	7,67	252,6
Valor p	0*	0,004*	0,001*	0,364	0,002*	0*

Tabla 4. Valores obtenidos y calculados de gases arteriales de población adulta y adulta mayor residente de gran altitud (Huancayo, 3250 msnm), según sexo.

	Varones		Mujeres		Valor p
	Media	DE	Media	DE	
Presión arterial de O ₂	56,27	6,87	60,80	6,83	0,017
Presión arterial de CO ₂	29,39	4,83	28,3	4,01	0,266
Hemoglobina (gr/dL)	16,26	1,27	14,77	1,89	0,019*
Saturación O ₂ (%)	90,35	3,89	92,39	2,77	0,012
pH	7,46	0,03	7,46	0,02	0,243
Bicarbonato (mEq/L)	21,54	3,43	20,11	2,24	0,024*
Sodio	142,4	4,9	144,2	5,40	0,116
Potasio	3,64	0,55	3,55	0,43	0,350
Anion Gap	18,99	7,03	21,31	7,58	0,288
Gradiente Aa	0,78	0,16	0,94	0,14	0,002*
Aa=2 real	4,69	6,81	1,51	7,54	0,142
Aa=2 esperada	13,64	3,59	12,86	2,76	0,567
PaO ₂ /FiO ₂	267,99	32,75	289,56	32,55	0,0017*
Presión alveolar	60,97	6,03	62,31	5,01	0,347
Diferencial de paO ₂	31,20	6,48	27,67	5,26	0,022*
Diferencial de gradiente	8,94	5,24	11,35	7,14	0,163
CaO ₂	19,87	1,91	18,06	1,28	0

la disminución del paO₂ y la saturación de O₂ fueron 5 veces superiores a las halladas en el Cusco, aunque sin apreciarse diferencias en la disminución de los valores del pO₂/FiO₂. Esto se debería al diferente grupo poblacional estudiado, ya que nuestros pacientes tenían entre 30 y 80 años de edad, y los del Cusco entre 20 y 59

años. Por otro lado, la extracción étnica es diferente entre ambas poblaciones. El distrito de Santiago en el Cusco, lugar donde se realizó el estudio de Pereira⁽⁶⁾ es una localidad de 75 138 habitantes que en su mayoría son de raza quechua (66,8%) con sólo un 28,2% de individuos mestizos⁽¹¹⁾. El distrito de El Tambo en Huancayo, con

129 546 habitantes tiene, por el contrario, una población mayoritariamente mestiza (58,8%) con sólo 32,5% de pacientes de raza quechua⁽¹²⁾. Todos los participantes de nuestro estudio fueron de raza mestiza.

Nuestros resultados se asemejan más a los de Sorbini⁽¹³⁾, quien a nivel del mar encontró una disminución de 0,43 mmHg por año. Crapo⁽¹⁴⁾, por otro lado, a 1400 msnm y a nivel del mar encontró una disminución de 0,245 mmHg por año en los valores de paO₂; sus resultados fueron similares a los de otros estudios a nivel del mar como los de Raine⁽¹⁵⁾ quien halló una disminución de 0,24 mmHg anual, Marshall⁽¹⁶⁾ quien reportó una disminución anual de 0,2 mmHg anual, o Conway con iguales valores⁽¹⁷⁾.

La población peruana presenta una adaptación parcial a la altura⁽¹⁾. Según Beall, la ventilación en reposo es aproximadamente 50% superior en los tibetanos a diferencia de los quechuas y aymaras⁽¹⁹⁾. Los varones tibetanos tenían una respiración promedio en reposo de 19,7 litros por minuto, a diferencia de los pobladores Aymara bolivianos rurales, quienes a la misma altura (4000 msnm) tenían un promedio de 13,4 litros por minuto.

La disminución del oxígeno ambiental disponible, debe ser compensada para evitar la hipoxia tisular. Los sujetos adaptados a la altura tienen una hemoglobina con una mayor afinidad por el oxígeno, lo que permite cumplir con la demanda metabólica de oxígeno y mantener un gradiente adecuada de difusión de oxígeno para la difusión desde los pulmones a la célula⁽¹⁹⁾. Aquellos mamíferos que son nativos de la altura, tienen una hemoglobina con mayor afinidad por el oxígeno, con una disminución de la respuesta al 2,3-difosfoglicerato, y aquellos que provienen de zonas de baja altitud compensan incrementando sus valores de hemoglobina⁽²⁰⁾. Según los estudios de Bancharo y Grover, ante una hipoxia moderada, la curva de disociación de hemoglobina se desvía hacia la derecha (bajo p50), y ante una hipoxia severa, la curva se desvía a la izquierda⁽²¹⁾. Brutsaert y col. mostraron que los descendientes limeños de personas que nacieron en la altura, así como los pobladores de altura, tienen

Tabla 5. Regresión lineal entre los valores gasométricos hallados, según la edad, en población adulta y adulta mayor residente de gran altitud (Huancayo, 3250 msnm).

	Diferencia de la media	Valor p
PO ₂ , mmHg	-0,556	0*
CO ₂ , mmHg	0,105	0,411
Saturación de Oxígeno	-0,484	0*
pH	-0,259	0,040*
Bicarbonato, mEq/L	0,038	0,769
Sodio, mEq/L	0,534	0*
Potasio, mEq/L	-0,237	0,106
Anion Gap	0,325	0,019*
Gradiente alveolo-arterial	0,460	0*
Gradiente esperada	1	0*
paO ₂ /FiO ₂	-0,556	0*

* Valor p < 0,05

una menor respuesta ventilatoria a la hipoxia; es decir, hiperventilan menos que los individuos que no tienen genes de la raza Quechua⁽²²⁾. Esto se debería a que las personas con antepasados de raza Quechua tendrían volúmenes pulmonares superiores^(23,24), mayor capacidad de difusión de dióxido de carbono, menores diferencias de presión parcial de oxígeno alveolo-arterial⁽²⁵⁾ y mayores capacidades de difusión de oxígeno en la altura. El resto de pobladores que viven en la altura hiperventilarían para adaptarse, compensando su estado ácido-base mediante la disminución del pH del líquido cefalorraquídeo⁽²⁶⁾.

La gradiente alveolo arterial se incrementó progresivamente con la edad en nuestros pacientes, aumentando de -1,90 en menores de 40 años a 7,67 en los mayores de 80 años. En promedio fue de 2,67, muy inferior al esperado, el cual era de 13,15. Estos resultados coinciden con los hallados a altitudes superiores; así, a 8400 msnm, en el monte Everest, Grocott⁽¹⁸⁾ halló un pO_2 de 24,6 mmHg, con un $paCO_2$ promedio de 13,3 mmHg pero una gradiente alveolo-arterial de tan solo 5,4 mmHg. Con el paso de los años, y tras varios meses en la altura, se desarrolla una desensibilización hipóxica, atenuando la respuesta ventilatoria. Esta hipoventilación disminuiría las pérdidas insensibles de agua por la respiración y mejoraría el equilibrio ácido base pero al costo de disminuir el pO_2 ⁽²⁷⁾.

Según estudios de Frisancho⁽²⁸⁾, a una altitud de 3000 msnm, la hemoglobina de la sangre arterial tiene una saturación del 90%, lo que indica que habría una disminución del 10% de oxígeno por cada unidad de sangre que deja el pulmón. Esta disminución sería tan alta como 30% a una altitud de 4000 a 5000 msnm. Los nativos de altura tienen mayores volúmenes pulmonares, especialmente el volumen pulmonar residual; asimismo, tienen mayor número de alveolos, y un 40% más de capilares musculares^(29,30), lo que mejora la perfusión tisular. Esta adaptación no sería suficiente en los pobladores de nivel del mar y en aquellos que no tienen antepasados que vivieron en la altura^(24,25), por lo que mantienen mayores niveles de hemoglobina y menores niveles de pCO_2 al presentar hiperventilación compensato-

ria. Inclusive, por efecto de la edad, disminuyen su impulso ventilatorio por desensibilización de los quimiorreceptores del cuerpo carotídeo^(1,14) y perderían parte de su adaptación a la altura. Pobladores urbanos de Huancayo, en su mayoría mestizos, tendrían perfiles respiratorios diferentes a la de los pobladores quechuas^(22,24) o Aymaras⁽¹⁹⁾ que se encontrarían mejor adaptados a la altura.

Concluimos que existe una significativa disminución de la presión parcial de oxígeno, de la relación paO_2/FiO_2 y de la saturación de oxígeno, así como un incremento en los valores del sodio, con la edad, en los sujetos evaluados. Es importante tener en cuenta estas variaciones gasométricas, ya que los pacientes adultos mayores son la población de mayor riesgo para desarrollar infecciones respiratorias severas por agentes bacterianos, gérmenes atípicos, influenza A H1N1, SARS-CoV-2, entre otros, con el consiguiente desarrollo de insuficiencia respiratoria. Los pobladores de raza mestiza del valle del Mantaro presentaron valores oxigenatorios e hidroelectrolíticos diferentes que a nivel del mar, los cuales son más notorios a mayor edad del sujeto evaluado. Estos parámetros deben ser tomados en cuenta para el manejo de pacientes atendidos en localidades por encima de los 3000 msnm.

AGRADECIMIENTOS

A las licenciadas Nora Solís, Evi Chucos y Liliana Mendoza por la toma de muestras de gases arteriales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Monge C, León-Velarde F. El Reto Fisiológico de vivir en los Andes. 1ª Edición. Lima: Instituto Francés de Estudios Andinos – UPCH; 2003.
- Arias-Reyes C, Zubieta-DeUrioste N, Poma-Machicao L, Aliaga-Raduan F, Carvajal-Rodríguez F, Dutschmann M, et al. Does the pathogenesis of SARS-CoV-2 virus decrease at high-altitude?. *Respir Physiol Neurobiol*. 2020; 277:103443. DOI: 10.1016/j.resp.2020.103443
- Luks AM, Hopkins SR. Lung function and gas exchange. In: *High Altitude: Human Adaptation to Hypoxia*. New York: Springer. 2014: 57-83.
- West JB, Schoene RB, Luks AM, Milledge JS. *High Altitude Medicine and Physiology*. 5ª Ed. London: CRC Press; 2012
- Tinoco A, Román A, Charri J. Gasometría arterial en diferentes niveles de altitud en residentes

- adultos sanos en el Perú. *Horiz Med*. 2017; 17(3): 6-10. DOI: <https://doi.org/10.24265/horizmed.2017.v17n3.02>
- Pereira-Victorio CJ, Huamanquispe-Quintana J, Castelo-Tamayo LE. Gasometría arterial en adultos clínicamente sanos a 3350 metros de altitud. *Rev Peru Med Exp Salud Publica*. 2014; 31(3): 473-479.
- Yumpo D. Estudio de valores referenciales de gases arteriales en pobladores de altura. *Enfermedades del Tórax*. 2002; 45: 40-42.
- American Association of Respiratory Care. AARC Clinical Practice Guideline: Sampling for Arterial Blood Gas Analysis. *Respir Care*. 1992;37(8):913-917.
- Burnett RW, Covington AK, Maas AH, Müller-Plathe O, Weisberg HF, Wimberley PD. International Federation of Clinical Chemistry (IFCC), Scientific Division. Committee on pH. Blood gases and electrolytes. IFCC method (1988) for tonometry of blood: reference materials for pCO_2 and pO_2 . *Journal of Clinical Chemistry and Clinical biochemistry*. 1989; 27(6):403-408.
- Powell F. Ventilation, Blood Flow, and Gas Exchange (Chapter 4) In: Murray and Nadel's Textbook of Respiratory Medicine. Sixth Edition. 2016.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática [Internet]. Cusco: Resultados Definitivos. Tomo VI. Cuadros estadísticos de Población, Vivienda y Hogar. Características de Etnicidad, octubre 2018 [Fecha de acceso: 10 de octubre 2019]. Disponible en: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1559/
- Instituto Nacional de Estadística e Informática [Internet]. Junín: Resultados Definitivos. Tomo VII. Cuadros estadísticos de Población, Vivienda y Hogar. Características de Etnicidad, octubre 2018 [Fecha de acceso: 10 de octubre 2019]. Disponible en: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1576/12TOMO_01.pdf
- Sorbini CA, Grass V, Solinas E, Muesan G. Arterial oxygen tension in relation to age in healthy subjects. *Respiration*. 1968; 25(1): 3-13. DOI: 10.1159/000192549
- Crapo RO, Jensen RL, Hegewald M, Tashkin DP. Arterial blood gas reference values for sea level and an altitude of 1,400 meters. *Am J Respir Crit Care Med*. 1999;160(5 Pt 1):1525-31. DOI: 10.1164/ajrccm.160.5.9806006
- Raine JM, Bishop JM. A-a difference in O_2 tension and physiologic dead space in normal man. *J Appl Physiol*. 1963;18(2):284-288. DOI: <https://doi.org/10.1152/jappl.1963.18.2.284>
- Conway CM, Payne JP, Tomlin PJ. Arterial oxygen tensions of patients awaiting surgery. *Br J Anaesth*. 1965;37:405-408. DOI: 10.1093/bja/37.6.405
- Marshall BE, Millar RA. Some factors influencing postoperative hypoxaemia. *Anaesthesia*. 1965;20(4):408-428. DOI: 10.1111/j.1365-2044.1965.tb04685.x
- Grocott MP, Martin DS, Levett DZ, McMorrow R, Windsor J, Montgomery HE, Caudwell Xtreme Everest Research Group. Arterial blood gases and oxygen content in climbers on Mount Everest. *N Engl J Med*. 2009;360(2):140-9. DOI: 10.1056/NEJMoa0801581
- Beall CM. Andean, Tibetan, and Ethiopian patterns of adaptation to high-altitude hypoxia. *Integr Comp Biol*. 2006;46(1):18-24. DOI: 10.1093/icb/ijc004
- Storz JF. Hemoglobin function and physiological adaptation to hypoxia in high-altitude mammals. *J*

- Mammal. 2007;88(1):24–31. DOI: <https://doi.org/10.1644/06-MAMM-S-199R1.1>
21. Bancharo N, Grover RF. Effect of different levels of simulated altitude on O₂ transport in llama and sheep. *American Journal of Physiology*. 1972;222(5):1239-1245. DOI: <https://doi.org/10.1152/ajplegacy.1972.222.5.1239>
 22. Brutsaert TD, Parra EJ, Shriver MD, Gamboa A, Rivera-Ch M, León-Velarde F. Ancestry explains the blunted ventilatory response to sustained hypoxia and lower exercise ventilation of Quechua altitude natives. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. 2005;289(1):R225-34. DOI: 10.1152/ajpregu.00105.2005
 23. Brutsaert TD, Soria R, Caceres E, Spielvogel H, Haas JD. Effect of developmental and ancestral high-altitude exposure on chest morphology and pulmonary function in Andean and European/North American natives. *Am J Hum Biol*. 1999;11(3):383-395. DOI: 10.1002/(SICI)1520-6300(1999)11:3<383::AID-AJHB9>3.0.CO;2-X
 24. Kiyamu M, Bigham A, Parra E, León-Velarde F, Rivera-Chira M, Brutsaert TD. Developmental and genetic components explain enhanced pulmonary volumes of female Peruvian Quechua. *Am J Phys Anthropol*. 2012;148(4):534-42. DOI: 10.1002/ajpa.22069
 25. Vincent J, Hellot MF, Vargas E, Gautier H, Pasquis P, Lefrançois R. Pulmonary gas exchange, diffusing capacity in natives and newcomers at high altitude. *Respir Physiol*. 1978;34(2):219-31. DOI: 10.1016/0034-5687(78)90030-0
 26. Monge C, León-Velarde F. Physiological adaptation to high altitude: oxygen transport in mammals and birds. *Physiol Rev*. 1991;71(4):1135-72. Review.
 27. Storz JF, Scott GR, Cheviron ZA. Phenotypic plasticity and genetic adaptation to high-altitude hypoxia in vertebrates. *J Exp Biol*. 2010 Dec 15;213(Pt24):4125-36. doi: 10.1242/jeb.048181. DOI: 10.1152/physrev.1991.71.4.1135
 28. Frisancho AR. Developmental functional adaptation to high altitude: review. *Am J Hum Biol*. 2013;25(2):151-68. DOI: <https://doi.org/10.1002/ajhb.22367>
 29. Mathieu-Costello O. 2001. Muscle adaptation to altitude: tissue capillarity and capacity for aerobic metabolism. *High Alt Med Biol*. 2001;2(3):413–425. DOI: 10.1089/15270290152608598
 30. de Bisschop C, Kiger L, Marden MC, Ajata A, Huez S, Faoro V, et al. Pulmonary capillary blood volume and membrane conductance in Andeans and lowlanders at high altitude: a cross-sectional study. *Nitric Oxide*. 2010;23(3):187–193. DOI: 10.1016/j.niox.2010.05.288