



# Saturación de oxígeno en pacientes durante hemodiálisis a diferentes altitudes

## *Oxygen saturation in patients during hemodialysis at different altitude levels*

Karina Rosales-Mendoza <sup>1,2,a</sup>, Jose Gonzales-Polar <sup>3,a</sup>, Sumen Romina <sup>1,2,b</sup>, Christian Vizcarra <sup>4,a</sup>, Abdías Hurtado-Aréstegui <sup>1,2,a</sup>

<sup>1</sup> Servicio de Nefrología, Hospital Nacional Arzobispo Loayza, Lima Perú.

<sup>2</sup> Universidad Peruana Cayetano Heredia, Lima Perú.

<sup>3</sup> Servicio de Nefrología, Hospital Regional Honorio Delgado, Arequipa Perú.

<sup>4</sup> Servicio de Nefrología, Hospital III Juliaca, Puno Peru.

<sup>a</sup> Médico, Especialista en nefrología

<sup>b</sup> Médico, Residente de nefrología

### Correspondencia

Karina Janet Rosales Mendoza  
karina.rosales@upch.pe

Recibido: 03/07/2021

Arbitrado por pares

Aprobado: 30/09/2021

Citar como: Rosales-Mendoza K, Gonzales-Polar J, Sumen R, Vizcarra C, Hurtado-Aréstegui A. Saturación de oxígeno en pacientes durante hemodiálisis a diferentes altitudes. Acta Med Peru. 2021;38(3):193-8. doi: <https://doi.org/10.35663/amp.2021.383.2146>

### RESUMEN

**Introducción:** Los pacientes en hemodiálisis pueden presentar hipoxemia durante este procedimiento, la cual puede ser mayor si la hemodiálisis se realiza en ciudades de gran altitud.

**Objetivos:** Evaluar las variaciones de la saturación de oxígeno en pacientes en hemodiálisis a diferentes altitudes. **Material y métodos:** Es una serie de casos prospectivos, donde se evaluaron pacientes de un programa de hemodiálisis crónica en tres ciudades, localizadas a diferentes altitudes: 101, 2 335 y 3 825 metros sobre el nivel del mar, en los que se evaluó la saturación de oxígeno en posición semisentada con pulsoxímetro: antes, durante y al finalizar el procedimiento de hemodiálisis. **Resultados:** Se incluyeron 65 pacientes en hemodiálisis, de 3 ciudades de diferente altitud, con características similares, la saturación de oxígeno disminuyó significativamente a medida que aumentaba la altitud ( $97,32 \pm 1,10$  vs  $94,75 \pm 2,17$  vs  $84,85 \pm 5,86$   $p=0,00$ ), la saturación de oxígeno mostró cambios antes, durante y al final del procedimiento de hemodiálisis en las diferentes altitudes. Los niveles de ferritina fueron menores en pacientes de gran altitud comparado con los de nivel del mar y altitud moderada ( $131,75$  [ $106,04 - 157,45$ ] vs  $493,38$  [ $273,19 - 713,56$ ] vs  $550,66$  [ $329,75-771,57$ ]  $p=0,01$ ). Los valores de hemoglobina fueron menores en los pacientes de mediana altitud ( $10,8$  [ $10,12-11,47$ ] vs  $11,32$  [ $10,79-11,85$ ] vs  $11,84$  [ $11,54-12,14$ ]  $p=0,03$ ). **Conclusiones:** En pacientes en hemodiálisis crónica la saturación de oxígeno disminuye a medida que incrementa la altitud y se encontró variaciones significativas durante el procedimiento de hemodiálisis.

**Palabras claves:** Oximetría cutánea, hemodiálisis, altitud.

## ABSTRACT

**Introduction:** Patients undergoing hemodialysis may develop hypoxemia during the procedure, and hypoxemia may become more intense if hemodialysis is performed in a high altitude environment. **Objectives:** To assess variations in oxygen saturation in patients undergoing hemodialysis at different altitude levels. **Material and methods:** This is a prospective case series, where patients from hemodialysis programs in three cities were assessed. These places were at 101-, 2335-, and 3825- meters above sea level. Patients had their oxygen saturation measured in a semi-sitting position with a pulse oximeter device. Measurements were taken before, during, and at the end of hemodialysis sessions. **Results:** Sixty-five patients undergoing hemodialysis were included. They were from three cities at different altitude above sea level. Oxygen saturation significantly decreased as long as altitude increased ( $97,32 \pm 1,10$  vs.  $94,75 \pm 2,17$  vs.  $84,85 \pm 5,86$   $p=0,00$ ). Oxygen saturation showed changes before, during, and at the end of hemodialysis procedures at different altitude. Ferritin levels were lower in high altitude patients compared with those at sea level and at moderate altitude ( $131,75$  [ $106,04 - 157,45$ ] vs.  $493,38$  [ $273,19 - 713,56$ ] vs.  $550,66$  [ $329,75-771,57$ ]  $p=0,01$ ). Hemoglobin values were lower in patients from middle altitude levels ( $10,8$  [ $10,12-11,47$ ] vs  $11,32$  [ $10,79-11,85$ ] vs  $11,84$  [ $11,54-12,14$ ]  $p=0,03$ ). **Conclusions:** In patients undergoing chronic hemodialysis oxygen saturation is reduced as long as altitude increases, and significant variations were found during hemodialysis procedures.

**Key words:** Cutaneous oximetry, hemodialysis, Altitude

## INTRODUCCIÓN

Las poblaciones que viven a gran altura han desarrollado diversos grados de adaptación fisiológica a la hipoxia hipobárica<sup>[1]</sup>, las que habitan en la región andina presentan mayores niveles de hemoglobina debido a un menor tiempo de adaptación<sup>[2]</sup>. La severidad de la hipoxia puede ser evaluada con una muestra de sangre arterial o midiendo la saturación arterial de oxígeno ( $\text{SaO}_2$ ) con pulsoxímetro que es una herramienta no invasiva y confiable a gran altitud<sup>[3]</sup>, la disminución de la  $\text{SaO}_2$  se observa desde altitudes de 700 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.)<sup>[4]</sup> y se exagera a mayores altitudes.

Los pacientes con enfermedad renal crónica estadio 5 en hemodiálisis (ERC5-D) crónica pueden presentar hipoxia durante el procedimiento de hemodiálisis por diversos mecanismos relacionados al tipo de líquido de hemodiálisis o al tipo de membrana usada para el procedimiento<sup>[5,6]</sup>; por lo que pacientes que se dializan a gran altitud estarían en mayor riesgo de hipoxemia. El objetivo del estudio fue evaluar las modificaciones de la  $\text{SaO}_2$  durante el procedimiento de la hemodiálisis en pacientes de un programa crónico de hemodiálisis de la región andina peruana y que residen a diferentes altitudes sobre el nivel del mar

## MATERIALES Y MÉTODOS

Es una serie de casos de tipo prospectivo donde se evaluó pacientes en un programa de hemodiálisis crónica, en tres ciudades del Perú localizadas a diferentes niveles de altura: Lima a 101 m.s.n.m. "nivel del mar", Arequipa a 2335 m.s.n.m. "altitud moderada" y Puno a 3825 m.s.n.m. "gran altitud". Se incluyó en forma aleatoria, pacientes que recibían hemodiálisis, si cumplían los siguientes criterios de inclusión: aceptación para participar en el estudio, firma de consentimiento informado, edad mayor de 18 años y menor de 60 años, de ambos sexos, en programa crónico de hemodiálisis tres veces por semana

por más de tres meses consecutivos, con hemoglobina entre 9 y 13 g/dl. Los criterios de exclusión fueron: presencia de enfermedad pulmonar (tuberculosis activa, asma, fibrosis pulmonar, enfermedad pulmonar obstructiva crónica), apnea del sueño, cáncer, duración de hemodiálisis menor de tres horas, ganancia de peso interdialítico mayor a 12 ml/kg/h de diálisis. Se usó una ficha donde se consignó la información clínica y de laboratorio. El tamaño de la muestra estimado fue de 14 pacientes por ciudad, con un alfa de 0,05, un valor beta de 0,20 para detectar una diferencia en  $\text{SaO}_2$  mínima de 2 % entre grupos, con una desviación estándar de 1.5 % por grupo y una tasa de pérdidas de 1 %.

Los pacientes usaron hemodializadores de polisulfona, con superficie entre 1,8 a 2,2  $\text{m}^2$ , el líquido de diálisis usado fue de bicarbonato con concentraciones de: sodio 139 meq/l, calcio 3,5 meq/l, magnesio 1meq/l, potasio 1,5 meq/l, bicarbonato 38 meq/l y glucosa 1,5 g/l. La saturación de oxígeno fue medida con el paciente en posición semisentada, se registró los valores de  $\text{SaO}_2$  antes del procedimiento, durante la hemodiálisis: al iniciar, 5, 15, 30, 60, 120, 180 minutos y al finalizar del procedimiento. Se utilizó el pulsioxímetro digital marca Riester 1905 ri-fox N, fabricado en Alemania, precisión de la medición de  $\pm 3$  %, para  $\text{SaO}_2$  entre 70 % - 99 %. La medida fue registrada en el brazo contralateral al acceso vascular, ya sea fístula o catéter. La presión arterial y el pulso fueron medidos al inicio y al final de la hemodiálisis con tensiómetros automáticos marca OMRON, modelo HEM-705CP, de fabricación China.

Se evaluaron variables demográficas como edad y sexo, variables clínicas como etiología de la enfermedad renal crónica, índice de masa corporal (IMC), tiempo de hemodiálisis, duración del procedimiento en horas, tipo de acceso vascular, superficie del dializador en  $\text{m}^2$  (filtro para hemodiálisis), tipo de membrana del dializador, niveles de hemoglobina, ferritina, uso de hierro parenteral, eritropoyetina subcutáneo y valores del Kt/V. Para comparar dos medias se utilizó t de student para datos independientes y ANOVA y/o Oneway, con corrección de

Bonferroni para comparar más de dos medias para variables con distribución normal y la prueba de Kruskal Wallis para comparar más de dos medias para variables sin distribución normal. Para comparar variables categóricas se usó la prueba de Chi cuadrado, finalmente para comparar las variaciones de la SaO<sub>2</sub> se utilizó la prueba de Friedman. El protocolo fue aprobado por el comité de ética del Hospital Nacional Arzobispo Loayza.

## RESULTADOS

Se incluyeron 65 pacientes con diagnóstico de ERC5-D crónica en 3 ciudades de diferentes niveles de altura en el Perú. El promedio

de edad de los pacientes fue de 52,64 ±12,25 años, se utilizó membrana de polisulfona en el dializador en todos los pacientes, la principal causa de enfermedad renal crónica no fue diabetes mellitus. Las características de los pacientes se describen en la Tabla N°1; se encontró diferencias en: el IMC fue menor en pacientes de gran altitud comparado con los de nivel del mar y los de altitud moderada (21,22 ± 2,00 vs 25,51 ± 3,64 vs 24,62 ± 4,38 p=0,00), el tiempo de permanencia en años en hemodiálisis fue mayor en los pacientes de nivel del mar vs moderada y gran altitud (6.32 [4.43-8.20] vs 2.72 [1.62-3.81] vs 2.95 [1.43-4.46] p= 0,01), el uso de Eritropoyetina fue menor en los pacientes de gran altura (9.38 % vs 37.5 % vs 23.44 % p= 0,00), los niveles de hemoglobina fueron menores en pacientes de mediana altitud

**Tabla 1.** Características de los pacientes ERC5 en hemodiálisis a diferentes altitudes de Perú.

Variables	Nivel del mar (n=25)	Altitud moderada (n=20)	Gran altitud (n=20)	p
Edad (años)				
Media (DE)	51,28 ± 8,14	52,9 ± 13,39	54,1 ± 15,42	0,74 <sup>a</sup>
Sexo Femenino (%)	72	65	40	0,08 <sup>b</sup>
Causa de ERC (%)				
DM2	13,85	4,62	6,15	0,23 <sup>a</sup>
No DM2	24,62	26,15	24,62	
Ultrafiltrado (Kg)				
Media (DE)	2,41 ± 1,00	2,18 ± 1,38	2,52 ± 1,17	0,64 <sup>a</sup>
IMC				
Media (DE)	25,51 ± 3,64	24,62 ± 4,38	21,22 ± 2,00	0,004 <sup>a</sup>
Años en HD				
Mediana [RIC]	6,32 [4,43-8,20]	2,72 [1,62-3,81]	2,95 [1,43-4,46]	0,006 <sup>a</sup>
Horas de HD				
Media (DE)	3,56 ± 0,14	3,55 ± 0,29	3,51 ± 0,04	0,63 <sup>a</sup>
Acceso vascular (%)				
FAV	25,45	16,36	21,82	0,46 <sup>b</sup>
CVCLP	20	9,09	7,27	
Superficie dializador en m <sup>2</sup>	1,96 [1,94-1,97]	1,89 [1,84-1,94]	1,82 [1,79-1,84]	0,00 <sup>c</sup>
Hierro EV %				
Si	9,38	14,06	9,38	0,24 <sup>b</sup>
No	29,69	15,63	21,88	
EPO %				
Si	37,5	23,44	9,38	0,00 <sup>b</sup>
No	1,56	6,25	21,88	
Hemoglobina g/Dl	11,32	10,8	11,84	
Mediana [RIC]	[10,79-11,85]	[10,12-11,47]	[11,54-12,14]	0,03 <sup>c</sup>
Ferritina ng/ml	493,38	550,66	131,75	
Mediana [RIC]	[273,19-713,56]	[329,75-771,57]	[106,04-157,45]	0,01 <sup>c</sup>
KTV				
Media (DE)	1,69 ± 0,29	1,57 ± 0,26	1,61 ± 0,19	0,29 <sup>a</sup>

DE: Desviación Estándar. RIC: Rango Intercuartílico. IMC: índice de masa corporal, ERC: Enfermedad renal crónica, DM2: Diabetes Mellitus 2, HD: hemodiálisis, EPO: Eritropoyetina, FAV: fístula arteriovenosa, CVCLP: catéter venoso central de larga permanencia.

a: ANOVA con corrección de Bonferroni

b: Chi cuadrado

c: Kruskal Wallis

**Tabla 2.** Comparación de la SaO<sub>2</sub> en diferentes momentos durante la sesión de hemodiálisis entre las regiones con diferente altitud.

Sa O <sub>2</sub>	Nivel del mar	Moderada altitud	Gran altitud	P*
Antes de HD	97,32 [96,87-97,76]	94,75 [93,77-95,72]	84,85 [82,22-87,47]	<0,01
Al inicio de HD	96,88 [96,41-97,34]	94,45 [93,52-95,37]	85,45 [83,23-87,66]	<0,01
A los 30 min de HD	96,52 [95,81-97,22]	93,5 [92,38-94,61]	84,7 [81,63-87,76]	<0,01
Al final de HD	97,28 [96,51-98,04]	94,20 [93,42-94,97]	87 [84,18-89,81]	<0,01

Mediana [Rango Intercuartílico]

\*Prueba de Kruskal Wallis

(10,8 [10,12-11,47] vs 11,32 [10,79-11,85] vs 11,84 [11,54-12,14] p = 0,03), los niveles de ferritina fueron menores en pacientes de gran altitud comparado con los nivel del mar y de altitud moderada (131.75 [106.04-157.45] vs 493.38 [273.19-713.56] vs 550.66 [329.75-771.57] p=0,01).

La SaO<sub>2</sub> disminuyó significativamente a medida que aumentaba la altitud de nivel del mar hacia altitud moderada y gran altitud, antes de la hemodiálisis, al inicio, a los 30 minutos y al final de la hemodiálisis, Tabla N°2 (p=0,00). La SaO<sub>2</sub> mostró cambios antes, durante y al finalizar la hemodiálisis en las diferentes altitudes (p=0,00), Tabla N°3 y Gráfico 1.

## DISCUSIÓN

En el estudio se encontró que, en pacientes en hemodiálisis la SaO<sub>2</sub> disminuye significativamente a medida que la altitud aumenta y que los niveles de SaO<sub>2</sub> varían durante el procedimiento de hemodiálisis en las diferentes altitudes. La altitud determina una disminución de la presión parcial de oxígeno, lo que ocasiona descenso en el aporte de oxígeno a los tejidos y es denominada hipoxia hipobárica; esta situación se presenta en personas que viven a gran altitud [7], como era de esperar se encontró una disminución de la SaO<sub>2</sub> en los pacientes en hemodiálisis a medida que aumentó la altitud. Los valores de SaO<sub>2</sub> considerados adecuados para diversas altitudes, brindan valores discrepantes entre estudios y presentan desviaciones estándar muy amplias [3],

se han desarrollado ecuaciones para determinar el valor adecuado para cada altitud en montañistas [8,9], los valores obtenidos en el estudio se aproximan a los predichos por estas ecuaciones.

En pacientes en hemodiálisis hay diversos factores que pueden disminuir la SaO<sub>2</sub> como son: a) anemia severa, que no fue un factor debido a que los pacientes tuvieron niveles promedio de hemoglobina de 11g/dl, aceptables para pacientes con ERC-5D [10], tampoco influyó la exactitud de los pulsoxímetros, ya que esta se altera con hemoglobinas por debajo de 9 g/dl [11,12], b) Afinidad de la hemoglobina, que se modifica por cambios en temperatura, pH sanguíneo, niveles de 2,3-difosfoglicerato (DPG) eritrocitario, un estudio encontró que, pacientes en hemodiálisis con niveles disminuidos de 2,3- DPG eritrocitario, la corrección de la acidosis durante la hemodiálisis produjo una disminución en la afinidad por el oxígeno [13]. Otro estudio que expone en forma aguda a pacientes en hemodiálisis a una altitud de 2000 m, describe incremento de la afinidad de la hemoglobina luego de dos semanas de permanencia a mayor altitud [14], no existen estudios acerca de la afinidad por la hemoglobina en pacientes en hemodiálisis expuestos crónicamente a la altura.

Además de la disminución significativa de la SaO<sub>2</sub> a medida que la altitud aumentaba, se observó disminución de la SaO<sub>2</sub> durante el procedimiento de hemodiálisis en las diferentes altitudes, se han descrito diversos mecanismos que pueden producir hipoxia durante la hemodiálisis [15-17]: a) tipo de líquido que se usa para la diálisis, la hipoxia se observa con acetato al inicio de la diálisis,

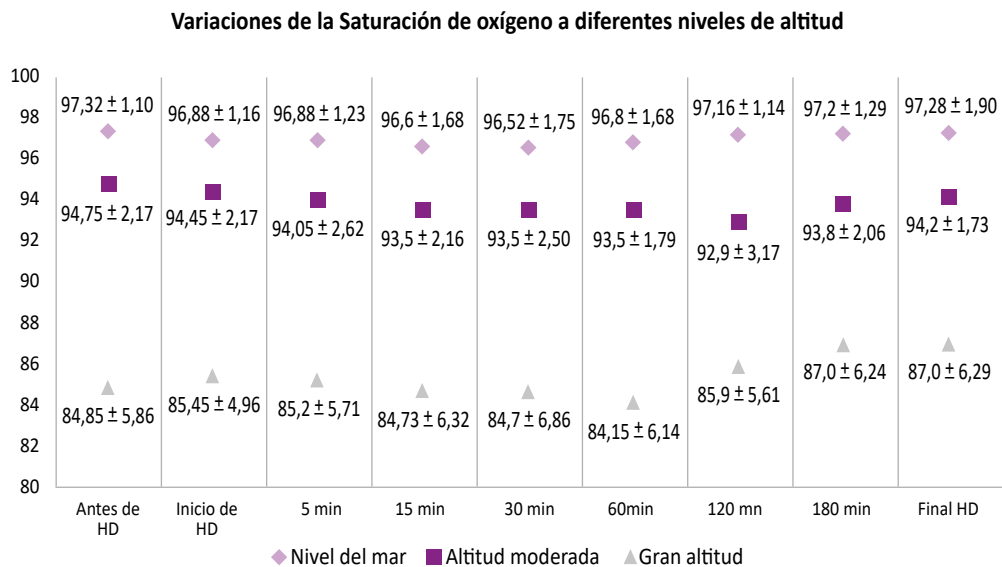
**Tabla 3.** Variaciones de la saturación de oxígeno antes, durante y al final de la hemodiálisis en cada región.

Región	SaO <sub>2</sub> antes de HD	SaO <sub>2</sub> al inicio de HD	SaO <sub>2</sub> a los 5'	SaO <sub>2</sub> a los 15'	SaO <sub>2</sub> a los 30'	SaO <sub>2</sub> a los 60'	SaO <sub>2</sub> a los 120'	SaO <sub>2</sub> a los 180'	SaO <sub>2</sub> al final de HD	p*
Nivel del mar	97,32 ± 1,10	96,88 ± 1,16	96,88 ± 1,23	96,6 ± 1,68	96,52 ± 1,75	96,8 ± 1,68	97,16 ± 1,14	97,2 ± 1,29	97,28 ± 1,90	<0,01
Moderada altitud	94,75 ± 2,17	94,45 ± 2,17	94,05 ± 2,62	93,5 ± 2,16	93,5 ± 2,50	93,5 ± 1,79	92,9 ± 3,17	93,8 ± 2,06	94,2 ± 1,73	<0,01
Gran altitud	84,85 ± 5,86	85,45 ± 4,96	85,2 ± 5,71	84,73 ± 6,32	84,7 ± 6,86	84,15 ± 6,14	85,9 ± 5,61	87 ± 6,24	87 ± 6,29	<0,01

HD: Hemodiálisis

Media ± Desviación Estandar

\*Prueba de Friedman



**Gráfico 1.** Variación de la SaO<sub>2</sub> en pacientes en hemodiálisis a diferentes altitudes: antes, durante y al fin de la sesión de hemodiálisis.

junto con leucopenia, disminución de plaquetas, activación del complemento <sup>[5,16]</sup>, no así con baño de bicarbonato <sup>[15,17]</sup>; b) tipo de membrana de hemodiálisis y su biocompatibilidad, las membranas celulósicas como el cuprophan producen más hipoxemia que las sintéticas como polisulfona, poliacrilonitrilo <sup>[18]</sup>. En este estudio todos los pacientes fueron dializados con baño de bicarbonato y membranas de polisulfona; c) volúmenes elevados de ultrafiltración <sup>[19]</sup>, en el estudio los pacientes tuvieron volúmenes de ultrafiltración menores de 12 ml/kg/hora; d) Enfermedades que fueron criterio de exclusión en el estudio, como insuficiencia cardíaca, enfermedad pulmonar obstructiva crónica, pacientes con marcadores inflamatorios elevados <sup>[20]</sup>. No se registró hipotensión intradiálisis, esta condición se ha relacionado con hipoxemia intradiálisis <sup>[21]</sup>. Es importante recordar que los pacientes que desarrollan hipoxemia intradiálisis tienen mayor morbimortalidad.

Los pacientes en hemodiálisis tienen niveles elevados de ferritina por un aporte endovenoso de hierro necesario para obtener una buena respuesta al uso de eritropoyetina exógena, los menores niveles de ferritina encontrados a mayor altitud podrían estar relacionados al estímulo hipóxico ambiental al que están expuestos estos pacientes <sup>[22]</sup>, así mismo el menor uso de eritropoyetina en este grupo de pacientes de gran altitud. Al ser un estudio observacional sin seguimiento a largo plazo, este no permite evaluar el impacto de la hipoxemia crónica en pacientes que residen a mayor altitud. Al tener pocos pacientes, las diferencias encontradas en los valores medidos en cada grupo de pacientes podrían ser diferentes.

## CONCLUSIONES

Los pacientes con enfermedad renal crónica estadio 5 en hemodiálisis crónica tienen una saturación menor de oxígeno a medida que residen a mayor altitud. Además, se encontró que la variación de la saturación de oxígeno durante la hemodiálisis fue diferente a diferentes altitudes. Se sugiere realizar más estudios con pacientes en hemodiálisis en la altura y evaluar los niveles de ferritina, saturación de hierro y cantidad de eritropoyetina utilizada en este grupo de pacientes.

**Contribución de los autores:** Concepción y diseño del estudio: Abdías Hurtado, Karina Rosales, Redacción: Abdías Hurtado, Karina Rosales, Responsabilidades del estudio: evaluación de pacientes Karina Rosales, Jose Gonzalez-Polar, Romina Sumen, Christian Vizcarra; Aprobación final: Abdías Hurtado, Karina Rosales, Jose Gonzalez-Polar, Romina Sumen, Christian Vizcarra

**Potenciales conflictos de interés:** Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

**Fuente de financiamiento:** Autofinanciado por los investigadores.

## ORCID

Karina Rosales-Mendoza ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6919-3766>

Jose Gonzalez-Polar ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1526-9147>

Romina Sumen ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8637-5118>  
Christian Vizcarra ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1068-7793>

Abdias Hurtado-Aréstegui ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8850-7903>

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Beall CM. Andean, Tibetan, and Ethiopian patterns of adaptation to high-altitude hypoxia. *Integr Comp Biol*. 2006 Feb;46(1):18–24.
2. Bigham AW, Wilson MJ, Julian CG, Kiyamu M, Vargas E, Leon-Velarde F, et al. Andean and Tibetan patterns of adaptation to high altitude. *Am J Hum Biol Off J Hum Biol Council*. 2013 Apr;25(2):190–7.
3. Luks AM, Swenson ER. Pulse oximetry at high altitude. *High Alt Med Biol*. 2011;12(2):109–19.
4. Goldberg S, Suhbut E, Mimouni FB, Joseph L, Picard E. Effect of moderate elevation above sea level on blood oxygen saturation in healthy young adults. *Respir Int Rev Thorac Dis*. 2012;84(3):207–11.
5. Sherlock JE, Yoon Y, Ledwith JW, Letteri JM. Respiratory gas exchange during hemodialysis. *Proc Clin Dial Transplant Forum*. 1972; 2:171–4.
6. Campos I, Chan L, Zhang H, Deziel S, Vaughn C, Meyring-Wösten A, et al. Intradialytic Hypoxemia in Chronic Hemodialysis Patients. *Blood Purif*. 2016;41(1–3):177–87.
7. Lenfant C, Sullivan K. Adaptation to high altitude. *N Engl J Med*. 1971 Jun 10;284(23):1298–309.
8. Lorente-Aznar T, Perez-Aguilar G, García-Espot A, Benabarre-Ciria S, Mendia-Gorostidi JL, Dols-Alonso D, et al. [Estimation of arterial oxygen saturation in relation to altitude]. *Med Clin (Barc)*. 2016 Nov 18;147(10):435–40.
9. Botella de Maglia J, Compte Torrero L. [Arterial oxygen saturation at high altitude. A study on unacclimatised mountaineers and mountain dwellers]. *Med Clin (Barc)*. 2005 Feb 12;124(5):172–6.
10. Chapter 3: Use of ESAs and other agents to treat anemia in CKD. *Kidney Int Suppl*. 2012 Aug;2(4):299–310.
11. Severinghaus JW, Koh SO. Effect of anemia on pulse oximeter accuracy at low saturation. *J Clin Monit*. 1990 Apr;6(2):85–8.
12. Jay GD, Hughes L, Renzi FP. Pulse oximetry is accurate in acute anemia from hemorrhage. *Ann Emerg Med*. 1994 Jul;24(1):32–5.
13. Ninness JR, Kimber RW, McDonald JW. Erythrocyte 2,3-DPG, ATP and oxygen affinity in hemodialysis patients. *Can Med Assoc J*. 1974 Oct 5;111(7):661–5.
14. Mairböurl H, Schobersberger W, Hasibeder W, Knapp E, Hopferwieser T, Dittrich P. Increase in Hb-O<sub>2</sub>-affinity at moderate altitude (2000 m) in patients on maintenance hemodialysis. *Clin Nephrol*. 1989 Apr;31(4):198–203.
15. Davidson WD, Dolan MJ, Whipp BJ, Weitzman RE, Wasserman K. Pathogenesis of dialysis-induced hypoxemia. *Artif Organs*. 1982 Nov;6(4):406–9.
16. Abu-Hamdan DK, Desai SG, Mahajan SK, Muller BF, Briggs WA, Lynne-Davies P, et al. Hypoxemia during hemodialysis using acetate versus bicarbonate dialysate. *Am J Nephrol*. 1984;4(4):248–53.
17. Quebbeman EJ, Maierhofer WJ, Piering WF. Mechanisms producing hypoxemia during hemodialysis. *Crit Care Med*. 1984 Apr;12(4):359–63.
18. Francos GC, Besarab A, Burke JF, Peters J, Tahamont MV, Gee MH, et al. Dialysis-induced hypoxemia: membrane dependent and membrane independent causes. *Am J Kidney Dis*. 1985 Mar;5(3):191–8.
19. Zhang H, Chan L, Meyring-Wösten A, Campos I, Preciado P, Kooman JP, et al. Association between intradialytic central venous oxygen saturation and ultrafiltration volume in chronic hemodialysis patients. *Nephrol Dial Transplant*. 2018 01;33(9):1636–42.
20. Meyring-Wösten A, Zhang H, Ye X, Fuertinger DH, Chan L, Kappel F, et al. Intradialytic Hypoxemia and Clinical Outcomes in Patients on Hemodialysis. *Clin J Am Soc Nephrol*. 2016 Apr 7;11(4):616–25.
21. Mancini E, Perazzini C, Gesualdo L, Aucella F, Limido A, Scolari F, et al. Intra-dialytic blood oxygen saturation (SO<sub>2</sub>): association with dialysis hypotension (the SOGLIA Study). *J Nephrol*. 2017 Dec;30(6):811–9.
22. Piperno A, Galimberti S, Mariani R, Pelucchi S, Ravasi G, et al. Modulation of hepcidin production during hypoxia-induced erythropoiesis in humans in vivo: data from the HIGHCARE project. *Blood*. 2010, 117: 2953–2959.