

Luis Efrén Santos-Martínez<sup>1a</sup>, Adrián Arias-Jiménez<sup>2b</sup>, Javier Quevedo-Paredes<sup>2c</sup>, Leticia Gómez-López<sup>2d</sup>, Adriana Ordoñez-Reyna<sup>1e</sup>, Luis Antonio Moreno-Ruiz<sup>3f</sup>

## Resumen

**Introducción:** en las grandes altitudes, el intercambio gaseoso suele estar deteriorado; en la altitud moderada de la Ciudad de México esto no está aún plenamente definido.

**Objetivo:** caracterizar el intercambio gaseoso en la altitud moderada de la Ciudad de México.

**Material y métodos:** mediante un estudio transversal analítico se estudiaron sujetos nacidos y habitantes de la Ciudad de México, de ambos géneros, con edades de 20 a 59 años sin enfermedad cardiopulmonar. Se registraron sus variables demográficas, espirometría simple y de gasometría arterial. Las diferencias en las variables se calcularon con ANOVA de una vía para grupos independientes y ajuste de Bonferroni. Una  $p < 0.05$  se aceptó como significativa.

**Resultados:** se estudiaron 335 sujetos, de los cuales 168 (50.15%) fueron hombres, la edad grupal fue de  $45 \pm 11$  años, con índice de masa corporal  $22.97 \pm 1.54$  Kg/m<sup>2</sup>. La relación volumen espiratorio forzado en el primer segundo/ Capacidad vital forzada (VEF1/CVF) de  $91.58 \pm 12.86\%$ . La presión arterial de oxígeno fue de  $66 \pm 5.02$  mmHg, el bióxido de carbono:  $32.07 \pm 2.66$  mmHg, la saturación arterial de oxígeno:  $93.03 \pm 1.80\%$  y la hemoglobina:  $14.07 \pm 1.52$  gr/dL.

**Conclusiones:** la presión arterial de oxígeno y del bióxido de carbono están disminuidos a la altura de la Ciudad de México.

## Abstract

**Background:** At high altitude the gas exchange is impaired, in the moderate altitude of Mexico City they are not yet defined.

**Objective:** To characterize the gas exchange in the moderate altitude of Mexico City.

**Material and methods:** Through an analytical cross-sectional study, subjects born and inhabitants of Mexico City, both genders, aged 20 to 59 years without cardiopulmonary disease, were studied. Their demographic variables, simple spirometry and arterial blood gas were recorded. Differences in variables were calculated with one-way ANOVA for independent groups and Bonferroni adjustment.  $p < 0.05$  was accepted as significant.

**Results:** 335 subjects were studied, 168 (50.15%) men. Group age  $45 \pm 11$  years old, body mass index  $22.97 \pm 1.54$  Kg/m<sup>2</sup>. Forced expiratory volume ratio in the first second / Forced vital capacity (FEV1/FVC)  $91.58 \pm 12.86\%$ . The arterial oxygen pressure was:  $66 \pm 5.02$  mmHg, carbon dioxide:  $32.07 \pm 2.66$  mmHg, arterial oxygen saturation:  $93.03 \pm 1.80\%$ , and hemoglobin:  $14.07 \pm 1.52$  gr/dL.

**Conclusions:** The arterial oxygen pressure and carbon dioxide are lowered at the Mexico City altitude.

<sup>1</sup>Instituto Mexicano del Seguro Social, Centro Médico Nacional Siglo XXI, Hospital de Cardiología, Servicio de Hipertensión Pulmonar y Corazón Derecho. Ciudad de México, México

<sup>2</sup>Instituto Mexicano del Seguro Social, Centro Médico Nacional La Raza, Hospital de Especialidades "Antonio Fraga Mouret", Coordinación del Curso Profesional Técnico Universitario en Terapia Respiratoria. Ciudad de México, México

<sup>3</sup>Instituto Mexicano del Seguro Social, Centro Médico Nacional Siglo XXI, Hospital de Cardiología, Servicio de Cardiología. Ciudad de México, México

ORCID: [0000-0002-2866-3047<sup>a</sup>](https://orcid.org/0000-0002-2866-3047), [0000-0001-6699-9740<sup>b</sup>](https://orcid.org/0000-0001-6699-9740), [0000-0002-4864-3481<sup>c</sup>](https://orcid.org/0000-0002-4864-3481), [0000-0002-8431-5979<sup>d</sup>](https://orcid.org/0000-0002-8431-5979), [0000-0002-9787-4032<sup>e</sup>](https://orcid.org/0000-0002-9787-4032), [0000-0001-5339-3504<sup>f</sup>](https://orcid.org/0000-0001-5339-3504)

### Palabras clave

Fenómenos Fisiológicos Respiratorios  
Circulación Pulmonar  
Rendimiento Pulmonar  
Pruebas de Función Respiratoria  
Análisis de Gases Sanguíneos

### Keywords

Respiratory Physiological Phenomena  
Pulmonary Circulation  
Lung Compliance  
Respiratory Function Tests  
Blood Gas Analysis

Fecha de recibido: 21/04/2021

Fecha de aceptado: 18/07/2021



Comunicación con:  
Luis Efrén Santos Martínez



Teléfono:  
55 4881 5135



Correo electrónico:  
luis.santos@cardiologia.org.mx

## Introducción

En la República Mexicana existe una gran diversidad geográfica. Con respecto a la altitud, sobresalen 37 ciudades a más de 1000 metros de altura, siete de ellas rebasan los 2000 metros sobre el nivel del mar (msnm).<sup>1,2</sup> La Ciudad de México se encuentra a una altitud de 2240 msnm con una presión barométrica (PB) de 587 mmHg,<sup>1,2,3</sup> la cual se encuentra categorizada como una altura moderada.<sup>4,5</sup> En el territorio nacional también existen numerosas poblaciones no urbanas y sitios montañosos que rebasan las alturas consideradas como de gran altitud (más de 2500 msnm).<sup>1,3</sup>

En alturas superiores a los 2500 msnm, la PB y la presión inspirada de oxígeno disminuyen, el resultado es hipoxia alveolar e hipoxemia, lo que deriva en vasoconstricción pulmonar hipóxica (VPH).<sup>6</sup> En este ambiente hipóxico e hipobárico se han descrito cambios fisiológicos en parámetros relacionados al intercambio gaseoso (IG) obtenidos a partir de la gasometría arterial (presión arterial de oxígeno [PaO<sub>2</sub>], saturación arterial de oxígeno [SaO<sub>2</sub>] y presión arterial de bióxido de carbono [PaCO<sub>2</sub>]),<sup>7,8,9,10</sup> y de la biometría hemática (hemoglobina [Hb] y hematocrito [HTO]).<sup>11,12</sup> Además, se pueden apreciar diferencias en la presión arterial pulmonar (PAP) y del ventrículo derecho (VD) al compararlos con los obtenidos en poblaciones residentes a nivel del mar.<sup>7,8,9,10</sup> Todas estas modificaciones asociadas a la altitud son compatibles con una vida normal en la altura, como resultado de la adaptación que han tenido los habitantes durante largos períodos de tiempo.<sup>4,5,6,7,8,9,10,11,12,13</sup>

Trabajos previos en población adulta (cuadro I)<sup>14,15,16,17,18</sup> han señalado estas características del IG a la altura de la Ciudad de México, sin embargo, la magnitud de los valores de estos parámetros tienden a diferir entre autores. A esta altitud también se ha informado en niños que realizan actividad física<sup>19</sup> y en población geriátrica (más de 60 años).<sup>20</sup>

Asimismo, se han estimado estos parámetros mediante cálculos matemáticos<sup>1,2,3</sup> a diferentes altitudes en la República Mexicana.

La importancia de caracterizar los valores de estos parámetros a 2240 msnm y PB de 587 mmHg radica en señalar que a esta altitud moderada sí se tienen efectos en el IG. Ya que nuestro país cuenta ciudades a diferentes altitudes, estos valores no son del todo conocidos, por ende, los parámetros del IG de referencia utilizados son los obtenidos y descritos a nivel del mar.<sup>21</sup> A diferencia de esta moderada altitud, a grandes alturas las alteraciones en el IG ya han sido demostradas.<sup>4,9,13</sup> Por este motivo en el Laboratorio de Fisiología Cardiopulmonar se caracterizaron los parámetros del IG obtenidos de la gasometría arterial en diferentes décadas de edad y género en habitantes sanos y nacidos en la Ciudad de México.

## Material y métodos

El estudio se efectuó en el Laboratorio de Fisiología Cardiopulmonar del Departamento de Hipertensión Pulmonar y Corazón Derecho de la Unidad Médica de Alta Especialidad (UMAE) Hospital de Cardiología, del Centro Médico Nacional Siglo XXI del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) en la Ciudad de México.

- Diseño: Transversal analítico. Se admitieron sujetos consecutivos de ambos géneros que presentaron los criterios de inclusión del estudio. Los sujetos no tuvieron antecedentes de tabaquismo y obesidad, y tampoco presentaban evidencia clínica de enfermedad pulmonar o cardíaca.

Los criterios de *normalidad* para ser incluidos fueron:  
1. Índice de masa corporal (IMC, [Kg/m<sup>2</sup>]), entre 18 a 24.99 kg/m<sup>2</sup>; espirometría simple: relación capacidad vital

**Cuadro I** Valores normales publicados de algunas medidas de la función respiratoria en sujetos adultos de la Ciudad de México a 2240 metros sobre el nivel del mar

Año	Autor	n	Edad, años	Género	pH	PaCO <sub>2</sub> (mmHg)	PaO <sub>2</sub> (mmHg)	SaO <sub>2</sub> (%)	Hb (gr/dL)
1969	Mireles et al.	40	Promedio 22 (19 a 40)	M: 40	7.40 ± 0.03	37.22 ± 2.69	66.67 ± 9.07	92.85 ± 7.10	13.87 (12.66 a 14.96)
1971	Staines et al.	300	16 a 60	M:212-F:88	7.41 ± 0.03	30 ± 0.03	67 ± 3	92 ± 2	NA
1972	Muñoz Bojalil	35	34 ± 11.8 (23 a 45)	M:23-F:12	7.41 ± 0.02	30.7 ± 1.8	67.5 ± 3.9	92.1 ± 1	15 ± 1
1973	Martínez Guerra et al.	60	10 a 59	M:40-F:20	7.44 ± 0.03	25.45 ± 2.7	66.96 ± 6.1	90.74 ± 2.6	NA
1974	Muñoz Bojalil BR et al.	62	Promedio 38	M:44-F:18	7.429	29.6 ± 2.2	67.8 ± 4.3	92.1 ± 1.4	15 ± 2.2

pH: Potencial hidrógeno; PaO<sub>2</sub>: Presión arterial de oxígeno; PaCO<sub>2</sub>: Presión arterial de bióxido de carbono; SaO<sub>2</sub>: Saturación arterial de oxígeno; Hb: Hemoglobina

forzada/volumen espiratorio forzado (VEF1/CVF)  $\geq$  70%; hemoglobina (12-18 g/dL).

Se estudiaron sujetos nacidos y residentes de la Ciudad de México (2240 msnm), los cuales fueron categorizados en grupos independientes de acuerdo a la década de su edad y género (20-29, 30-39, 40-49 y 50-59 años).

- Equipo de pruebas de función respiratoria: Las pruebas de función respiratoria (espirometría simple) se realizaron en el equipo MasterLab-Body Standard Versión with Diffusion Option Jaeger Company Type, número de serie 101221-175110. El equipo es calibrado diariamente, previo a la jornada de trabajo.
- Jeringas desechables: Las muestras sanguíneas fueron obtenidas mediante jeringas desechables DL de 1 mL (para insulina), y longitud de la aguja de 13 mm. Calibre 27 G. Todos los sujetos estuvieron sentados al momento de obtener la muestra.
- Equipo para el análisis de muestras sanguíneas: Las gasometrías arteriales se analizaron en el equipo GEM Premier 3000 modelo 5700 (Instrumentation Laboratory, Lexington, Massachusetts, Estados Unidos de Norteamérica). La calibración del equipo se realizó cada 24 horas previas a su uso.
- Balanza para determinar peso y altura: Bascula BAME Mod. DGN. 2412. Para llevar a cabo la medición del peso se les pidió a todos los pacientes retirarse la ropa y se les proporcionó una bata hospitalaria al momento de ser pesados. El peso y la altura se obtuvieron en posición de pie.
- Prueba de espirometría simple: A través del análisis de las variables relacionadas a los flujos espiratorios (capacidad vital forzada [CVF] y el volumen espiratorio forzado en el primer segundo [VEF1] y su relación CVF/VEF1) se definió el patrón espirométrico funcional sugestivo de normalidad. El diagnóstico espirométrico fue estimado de acuerdo con la fuerza de tarea de la Sociedad Americana del Tórax/Sociedad Europea Respiratoria<sup>22,23</sup> (ATS/ERS por sus siglas en inglés) para la estandarización de la espirometría simple.
- Intervención: Una vez seleccionado al sujeto, se pesó y calculó su IMC, se obtuvo el consentimiento informado y se le explicó la técnica de la punción arterial. Posteriormente se realizó la prueba de Allen modificada,<sup>24</sup> la arteria que demostró el mejor llenado fue la elegida para la punción. Estando el sujeto sentado y en reposo, previa asepsia y antisepsia de la región de la arteria radial derecha o izquierda, se obtuvo la muestra que se man-

tuvo libre de contacto con el aire ambiente. El tiempo transcurrido entre la obtención de la muestra y el análisis no superó los 3 minutos en ninguno de los casos. Acto seguido, se procedió a realizar la espirometría simple con calidad A<sup>22</sup> en su técnica de realización. Al final, se acotaron sus variables demográficas.

- Análisis estadístico: Las variables nominales y ordinales se informaron con frecuencias y porcentajes, y las numéricas, con promedios y desviaciones estándar. La diferencia entre las variables relacionadas al intercambio gaseoso y las de la espirometría simple entre los grupos de edad y género se calculó mediante el análisis de varianza de una vía para grupos independientes con ajuste de Bonferroni. Para la diferencia entre géneros entre cada década y en el grupo total se utilizó la prueba *t* de Student para grupos independientes. Se obtuvo la correlación de Pearson entre las variables relacionadas al intercambio gaseoso y los de las espirometrías simples. Se aceptó una *p* < 0.05 como significativa.
- Aspectos Éticos: Se obtuvo la autorización del estudio por el Comité de Investigación y de Ética del Hospital de Cardiología del Centro Médico Nacional Siglo XXI del IMSS, con número R-2013-3604-1. Asimismo, se obtuvo el consentimiento informado de cada participante.

## Resultados

Se estudiaron 335 sujetos con 335 gasometrías arteriales y espirometrías simples, de los cuales 168 (50.15%) fueron del género masculino y 167 (49.85%) del femenino, fueron categorizados en 4 décadas, a partir de los 20 y hasta los 59 años. La información demográfica se acota en el **cuadro II**, donde se puede apreciar que los pacientes del género masculino tuvieron predominio de mayor peso y talla que los de género femenino para las diferentes décadas, sin embargo, estas diferencias se igualaron al calcular el IMC (Kg/m<sup>2</sup>).

En el **cuadro III** se muestran los valores obtenidos de la espirometría simple. El grupo estudiado tuvo valores normales por espirometría simple para década y género.

En el **cuadro IV** se informan los valores de los parámetros de la gasometría arterial relacionados al IG. Se muestra que el pH es similar para género y década. Las PaO<sub>2</sub> se comportaron similares por década y género, lo que ocurre igual para el resto de las variables del intercambio gaseoso.

En el **cuadro V** se expresan los datos totales de los parámetros de la espirometría simple y del IG para cada género y de todo el grupo estudiado. No se aprecian diferencias en

**Cuadro II** Valores normales demográficos en sujetos adultos estudiados por década de edad a la altura de la Ciudad de México a 2240 metros sobre el nivel del mar (*continúa abajo*)

Variables		Década 20-29 Hombre (n = 35); Mujer (n = 36)		Década 30-39 Hombre (n = 43); Mujer (n = 43)	
		X ± DS	Total (n = 71)	X ± DS	Total (n = 86)
Edad (años)	Hombre	23.74 ± 2.84**	24.14 ± 2.80*	35.65 ± 2.53**	35.20 ± 3.11*
	Mujer	25.33 ± 2.75**		35.56 ± 3.90**	
Peso (Kg)	Hombre	64.93 ± 9.89	61.54 ± 9.53	62.97 ± 9.02**	59.40 ± 8.30*
	Mujer	55.93 ± 5.78▽		55.90 ± 5.95▽	
Talla (m)	Hombre	1.68 ± 11	1.65 ± 10.32	1.64 ± 9	1.61 ± 8.85
	Mujer	1.58 ± 6▽		1.58 ± 6▽	
IMC (Kg/m <sup>2</sup> )	Hombre	22.70 ± 1.65	22.40 ± 1.63	22.98 ± 1.55	22.65 ± 1.64
	Mujer	22.35 ± 1.48		22.29 ± 1.67	

IMC: Índice de masa corporal; X ± DS: Promedio ± Desviación estándar

\*Anova de una vía con Ajuste de Bonferroni para totales

\*\*Anova de una vía con Ajuste de Bonferroni para género y década

▽ Prueba t de Student para grupos independientes para diferencia entre géneros ( $p < 0.05$ )

(Continuación cuadro II) Valores normales demográficos en sujetos adultos estudiados por década de edad a la altura de la Ciudad de México a 2240 metros sobre el nivel del mar

Variables		Década 40-49 Hombre (n = 44); Mujer (n = 42)		Década 50-59 Hombre (n = 46); Mujer (n = 46)	
		X ± DS	Total (n = 86)	X ± DS	Total (n = 92)
Edad (años)	Hombre	45.07 ± 2.82**	44.87 ± 2.89*	55.32 ± 2.61**	53.61 ± 6.79*
	Mujer	44.62 ± 2.98**		54.75 ± 2.85**	
Peso (Kg)	Hombre	67.07 ± 6.21	62.04 ± 7.56	64.10 ± 6.27	59.54 ± 7.96*
	Mujer	57.11 ± 4.99▽**		55.21 ± 7.05▽	
Talla (m)	Hombre	1.69 ± 6	1.62 ± 9.29	1.67 ± 7	1.60 ± 9.34
	Mujer	1.56 ± 6▽		1.54 ± 6▽	
IMC (Kg/m <sup>2</sup> )	Hombre	23.27 ± 1.42	23.32 ± 1.36	22.94 ± 1.58	22.96 ± 1.56
	Mujer	23.41 ± 1.30		22.98 ± 1.54	

IMC: Índice de masa corporal; X ± DS: Promedio ± Desviación estándar

\*Anova de una vía con Ajuste de Bonferroni para totales

\*\*Anova de una vía con Ajuste de Bonferroni para género y década

▽ Prueba t de Student para grupos independientes para diferencia entre géneros ( $p < 0.05$ )

**Cuadro III** Valores normales por década de edad de las variables de la espirometría simple en sujetos adultos a la altura de la Ciudad de México a 2240 metros sobre el nivel del mar (*continúa abajo*)

Variables		Década 20-29 Hombre (n = 35); Mujer (n = 36)		Década 30-39 Hombre (n = 43); Mujer (n = 43)	
		X ± DS	Total (n = 71)	X ± DS	Total (n = 86)
VEF <sub>1</sub> (L)	Hombre	2.97 ± 0.88	2.89 ± 0.79	2.82 ± 0.66	2.83 ± 0.67
	Mujer	2.62 ± 0.55		2.84 ± 0.69	
CVF (L)	Hombre	3.46 ± 0.73	3.26 ± 0.86	3.22 ± 0.21	3.12 ± 0.62
	Mujer	2.92 ± 0.11**		3.02 ± 0.83	
VEF1/CV (%)	Hombre	86.33 ± 9.09	88.95 ± 12.36	88.11 ± 10.23	90.60 ± 12.91*
	Mujer	89.20 ± 8.34		93.03 ± 10.47**	

VEF<sub>1</sub>: Volumen espiratorio forzado en el primer segundo; CVF: Capacidad vital forzada; VEF1/CVF: Relación volumen espiratorio forzado en el primer segundo ÷ capacidad vital forzada; X ± DS: Promedio ± Desviación estándar

\*Anova de una vía con Ajuste de Bonferri para totales

\*\*Anova de una vía con Ajuste de Bonferri para género y década ( $p < 0.05$ )

*(Continuación cuadro III* Valores normales por década de edad de las variables de la espirometría simple en sujetos adultos a la altura de la Ciudad de México a 2240 metros sobre el nivel del mar

Variables		Década 40-49 Hombre (n = 44); Mujer (n = 42)		Década 50-59 Hombre (n = 46); Mujer (n = 46)	
		X ± DS	Total (n = 86)	X ± DS	Total (n = 92)
VEF <sub>1</sub> (L)	Hombre	3.06 ± 0.75	2.92 ± 0.68*	2.94 ± 0.63	2.87 ± 0.62
	Mujer	2.79 ± 0.57		2.85 ± 0.62	
CVF (L)	Hombre	3.41 ± 0.61	3.23 ± 0.64	3.17 ± 0.34	3.06 ± 0.45*
	Mujer	3.05 ± 0.71		2.97 ± 0.44	
VEF1/CV (%)	Hombre	89.95 ± 10.57	90.41 ± 11.82*	92.72 ± 10.02	93.40 ± 12.79*
	Mujer	91.08 ± 10.38**		95.25 ± 10.58**	

VEF<sub>1</sub>: Volumen espiratorio forzado en el primer segundo; CVF: Capacidad vital forzada; VEF1/CVF: Relación volumen espiratorio forzado en el primer segundo ÷ capacidad vital forzada; X ± DS: Promedio ± Desviación estándar

\*Anova de una vía con Ajuste de Bonferri para totales

\*\*Anova de una vía con Ajuste de Bonferri para género y década ( $p < 0.05$ )

**Cuadro IV** Valores normales por década de edad de parámetros de la gasometría arterial que estiman el intercambio gaseoso en sujetos adultos a la altura de la Ciudad de México a 2240 metros sobre el nivel del mar (*continúa en la página...*)

Variables		Década 20-29 Hombre (n = 35); Mujer (n = 36)		Década 30-39 Hombre (n = 43); Mujer (n = 43)	
		X ± DS	Total (n = 71)	X ± DS	Total (n = 86)
pH	Hombre	7.41 ± 0.02	7.42 ± 0.20	7.42 ± 0.02	7.42 ± 0.21
	Mujer	7.42 ± 0.01		7.41 ± 0.02	
PaO <sub>2</sub> (mmHg)	Hombre	66.45 ± 4.83	66 ± 5.02	67.14 ± 4.50	67.59 ± 4.32
	Mujer	66.58 ± 3.42		67.09 ± 4.13	
PaCO <sub>2</sub> (m)	Hombre	31.51 ± 2.72	31.19 ± 2.83	31.67 ± 2.61	31.91 ± 2.65
	Mujer	30.69 ± 2.70		32.14 ± 2.67	
SaO <sub>2</sub> (Kg/m <sup>2</sup> )	Hombre	92.60 ± 1.61	92.64 ± 1.59	93.56 ± 1.69	93.27 ± 1.76
	Mujer	92.83 ± 1.56		93.02 ± 1.86	
Hb (gr/dL)	Hombre	13.85 ± 1.25	13.95 ± 1.41	14.03 ± 1.50	14.12 ± 1.44
	Mujer	13.88 ± 1.47		14.12 ± 1.47	

pH: Potencial hidrógeno; PaO<sub>2</sub>: Presión arterial de oxígeno; PaCO<sub>2</sub>: Presión arterial de bióxido de carbono; SaO<sub>2</sub>: Saturación arterial de oxígeno; Hb: Hemoglobina; X ± DS: Promedio ± Desviación estándar

\*Anova de una vía con Ajuste de Bonferri para totales

\*\*Anova de una vía con Ajuste de Bonferri para género y década ( $p < 0.05$ )

(Continúa de la página ... **cuadro IV** Valores normales por década de edad de parámetros de la gasometría arterial que estiman el intercambio gaseoso en sujetos adultos a la altura de la Ciudad de México a 2240 metros sobre el nivel del mar

Variables		Década 40-49 Hombre (n = 44); Mujer (n = 42)		Década 50-59 Hombre (n = 46); Mujer (n = 46)	
		X ± DS	Total (n = 86)	X ± DS	Total (n = 92)
pH	Hombre	7.42 ± 0.02	7.42 ± 0.23	7.42 ± 0.02	7.42 ± 0.21
	Mujer	7.42 ± 0.02		7.42 ± 0.01	
PaO <sub>2</sub> (mmHg)	Hombre	67.08 ± 4.59	67.61 ± 4.73	66.81 ± 4.30	66.59 ± 4.24
	Mujer	67.18 ± 4.82		66.37 ± 4.52	
PaCO <sub>2</sub> (m)	Hombre	32.57 ± 2.37	32.25 ± 2.54	32.36 ± 2.62	32.22 ± 2.66
	Mujer	31.96 ± 2.70		32.22 ± 2.72	
SaO <sub>2</sub> , (Kg/m <sup>2</sup> )	Hombre	93.36 ± 1.65	93.20 ± 1.85	93 ± 1.82	92.92 ± 1.81
	Mujer	93.04 ± 2		92.80 ± 1.85	
Hb (gr/dL)	Hombre	14.44 ± 1.48	14.28 ± 1.60	13.96 ± 1.48	13.95 ± 1.50
	Mujer	13.17 ± 1.68		13.99 ± 1.57	

pH: Potencial hidrógeno; PaO<sub>2</sub>: Presión arterial de oxígeno; PaCO<sub>2</sub>: Presión arterial de bióxido de carbono; SaO<sub>2</sub>: Saturación arterial de oxígeno; Hb: Hemoglobina; X ± DS: Promedio ± Desviación estándar

\*Anova de una vía con Ajuste de Bonferri para totales

\*\*Anova de una vía con Ajuste de Bonferri para género y década ( $p < 0.05$ )

**Cuadro V** Valores normales totales y por género de parámetros de la gasometría arterial que estiman el intercambio gaseoso y la espirometría simple en sujetos adultos a la altura de la Ciudad de México a 2240 metros sobre el nivel del mar

Variables	Total (n = 335) X ± DS	Hombres (n = 168) X ± DS	Mujeres (n = 167) X ± DS
pH	7.42 ± 0.02	7.42 ± 0.02	7.42 ± 0.02
PaO <sub>2</sub> (mmHg)	66 ± 5.02	67.36 ± 4.66	66.62 ± 4.35
PaCO <sub>2</sub> (m)	32.07 ± 2.66	32.21 ± 2.57	31.92 ± 2.74
SaO <sub>2</sub> (Kg/m <sup>2</sup> )	93.03 ± 1.80	93.14 ± 1.74	92.91 ± 1.85
Hb (gr/dL)	14.07 ± 1.52	14.10 ± 1.47	13.05 ± 1.57
VEF <sub>1</sub> (L)	2.88 ± 0.67	2.96 ± 0.71	2.80 ± 0.61
CVF (L)	3.14 ± 0.59	3.29 ± 0.72	3 ± 0.37
VEF <sub>1</sub> /CVF (%)	91.58 ± 12.55	90.36 ± 12.15	92.83 ± 12.86*

pH: Potencial hidrógeno; PaO<sub>2</sub>: Presión arterial de oxígeno; PaCO<sub>2</sub>: Presión arterial de bióxido de carbono; SaO<sub>2</sub>: Saturación arterial de oxígeno; Hb: Hemoglobina; VEF<sub>1</sub>: Volumen espiratorio forzado en el primer segundo; CVF: Capacidad vital forzada; VEF<sub>1</sub>/CVF: Relación volumen espiratorio forzado en el primer segundo ÷ capacidad vital forzada; X ± DS: Promedio ± Desviación estándar

\*Prueba t de Student para grupos independientes ( $p < 0.05$ )

función del género de cada variable aquí presentada. La relación de hombre frente a mujer para cada variable fueron, respectivamente: pH (7.42 ± 0.02 frente a 7.42 ± 0.02); PaO<sub>2</sub> (67.36 ± 4.66 frente a 66.62 ± 4.35 mmHg,  $p = 0.109$ ); PaCO<sub>2</sub> (32.21 ± 2.57 frente a 31.92 ± 2.74 mmHg,  $p = 0.928$ ); SaO<sub>2</sub> (93.14 ± 1.74 frente a 92.91 ± 1.85 %,  $p = 0.721$ ); Hb (14.10 ± 1.47 frente a 14.05 ± 1.57 gr/dL,  $p = 0.605$ ). Del promedio de la suma de hombres y mujeres se exhiben: PaO<sub>2</sub>, 66 ± 5.02 mmHg; PaCO<sub>2</sub>, 32.07 ± 2.66 mmHg; SaO<sub>2</sub>, 93.03 ± 1.80 %, y Hb, 14.07 ± 1.52 gr/dL, a la altura de la Ciudad de México.

Las correlaciones de Pearson obtenidas fueron: la HB frente a PaO<sub>2</sub>: 0.449,  $p = 0.0001$ ; y la HB frente a SaO<sub>2</sub>: 0.440,  $p = 0.0001$ .

## Discusión

La vida en la altura requiere de adaptaciones fisiológicas del organismo a largo plazo.<sup>9,10</sup> Una alta proporción de la población mundial habita a grandes alturas y realizan sus actividades cotidianas sin evidencia de afección alguna;

estas poblaciones se encuentran localizadas en cuatro grandes áreas: los Andes en América del Sur, las montañas Rocosas en los Estados Unidos de América, Etiopía en África y la región de los Himalaya en Asia.<sup>4,5,9,10</sup>

El escenario clínico de las poblaciones más antiguas que viven en altitudes superiores a los 2500 msnm son las del Tíbet y Sherpas (Asia) y los etíopes (África). El perfil clínico del IG de los tibetanos exhibe mayor SaO<sub>2</sub>, menor Hb y mayor capacidad ventilatoria (tienen adaptación genotípica) que los pobladores Han (China) y de América (los nativos andinos aimaras y quechuas, quienes tienen adaptación fenotípica),<sup>4,9,10,13</sup> ya que pesar de tener niveles elevados de Hb exhiben menor SaO<sub>2</sub>, además de aumento de la PAP, resistencia vascular pulmonar, hipertrofia del VD y aumento de volúmenes pulmonares. Estos perfiles clínicos en sujetos sanos no parecen ser parte de la altitud de la Ciudad de México.

Otra característica de la altitud es la capacidad de realizar ejercicio, ya que conforme incrementa la altitud esta capacidad se ve limitada, por lo que se ha categorizado de acuerdo a los metros desde el nivel del mar en que se habita en: 1. Moderada altitud: 1500 - 2500 (no se sienten efectos en ejercicio); 2. Alta altitud: 2500 - 3500 (se sienten efectos en ejercicio); 3. Muy alta altitud: 3500 - 5800 (se sienten efectos hasta en reposo), y 4. Extremadamente alta altitud: > 5800 (la vida permanente parecería imposible).<sup>4,5</sup> La Ciudad de México se encuentra dentro del grupo de altitud moderada, referido como sin efectos en la capacidad de hacer ejercicio.

Previamente<sup>4,6</sup> se ha descrito que por arriba de 2500 msnm la presión barométrica y la presión inspirada de oxígeno disminuyen, el resultado es la hipoxia alveolar y la hipoxemia, lo que deriva en VPH,<sup>6</sup> que permite un mejor equilibrio entre la relación ventilación/perfusión (V/Q) pulmonar y aumenta la capacidad de difusión pulmonar; en comparación con el nativo a nivel del mar se traduce en un menor gradiente alveolo-arterial de oxígeno (A-a = 3 a 5 mmHg).<sup>9</sup> La finalidad de estos ajustes funcionales es el de distribuir la sangre a todos los segmentos pulmonares y hacer más eficiente el transporte de oxígeno.

No obstante, que la Ciudad de México se encuentre a una altura moderada de 2240 msnm, se ha informado previamente<sup>1,2,3,14,15,16,17,18,19,25</sup> que esta altitud afecta el intercambio gaseoso en sujetos sanos. Resultados que se han reproducido en este trabajo (cuadro V) frente a los reportados a nivel mar,<sup>21</sup> respectivamente. Es decir: pH 7.42 ± 0.02 frente a 7.35 a 7.45; PaO<sub>2</sub> 66 ± 5.02 frente a 75 a 100 mmHg; PaCO<sub>2</sub>, 32.07 ± 2.66 frente a 35 a 45 mmHg; SaO<sub>2</sub>, 93.03 ± 1.80 frente a 95 a 100 %; Hb, 14.07 ± 1.52 frente a 14.7 ± 0.88 gr/dL.<sup>7,8</sup>

De acuerdo con los valores mostrados en el cuadro I, existe concordancia entre los valores para la PaO<sub>2</sub> y la SaO<sub>2</sub>, no así para la PaCO<sub>2</sub>, donde se observan aún valores muy amplios entre autores, por lo que se requieren más trabajos para conocer el comportamiento de la PaCO<sub>2</sub> a esta altitud. El nativo de la gran altitud presenta menor ventilación/minuto y menor respuesta de sus quimiorreceptores periféricos (carotideo y aórtico) a su PaO<sub>2</sub> y PaCO<sub>2</sub>, que el observado en sujetos nativos de alturas al nivel del mar,<sup>9,10</sup> lo que se relaciona con la génesis de la hipercapnia y, de forma secundaria, con la hipoxemia. La variación de la ventilación pulmonar es diferente en respuesta al reto con oxígeno: a nivel del mar es del 10% frente a 30% en personas del nivel del mar aclimatadas a la altura frente al 15% en residentes nativos de la altitud. Esto explica por qué una persona nativa del nivel del mar que llega a la alta altitud presenta una respuesta compensatoria a la hipoxia, que es la hiperventilación,<sup>9,10</sup> y la PaCO<sub>2</sub> por ende es menor.

El comportamiento de la Hb de acuerdo con la altitud ha sido comentado previamente por Gassmann *et al.*,<sup>12</sup> en poblaciones tibetanas frente a las de América del Sur (hombre y mujer), respectivamente en alturas de 0 a 999 msnm (15.5 - 13.4 frente a 14.9 - 13.7 gr/dL); 1000 a 1999 msnm (no consignado frente a 15.3 - 14.1 gr/dL); 2000 a 2999 msnm (15.7 - 14.3 frente a 16.6 - 14.8 gr/dL); 3000 a 3999 msnm (17.5 - 15 frente a 17.9 - 15.4 gr/dL); 4000 a 4999 msnm (18.9 - 16.5 frente a 19.5 - 17 gr/dL); y más de 5000 msnm (19.6 - 19.6 frente a 20.3 - 18.2 gr/dL). De acuerdo con lo mostrado aquí, nuestros valores parecerían menores, sin embargo, la categoría está más cercana a la de 1999 msnm donde sí parecerían concordar.

Producto de los resultados obtenidos en esta caracterización clínica de parámetros del intercambio gaseoso a 2240 msnm, convendría revisar los criterios diagnósticos para el síndrome de obesidad-hipoventilación,<sup>26</sup> así como la indicación de oxígeno suplementario<sup>27</sup> a la altura de la Ciudad de México, que fueron enunciados para estas entidades en sujetos a nivel del mar.

## Conclusiones

El perfil clínico del intercambio gaseoso caracterizado a la altura de la Ciudad de México fue de disminución de la PaO<sub>2</sub> (hipoxemia = 66 ± 5.02 mmHg) y disminución de la PaCO<sub>2</sub> (hipocapnia = 32.07 ± 2.66 mmHg).

Con respecto a lo previamente publicado, los valores de los datos aquí presentados concuerdan para la presión arterial de oxígeno, saturación arterial de oxígeno y hemoglobina.

La presión arterial de bióxido de carbono difiere entre los autores referidos en el cuadro I y los datos aquí acotados.

## Financiamiento

La presente investigación no ha recibido ninguna beca específica de agencias de los sectores público, comercial o sin ánimo de lucro.

**Declaración de conflicto de interés:** los autores han completado y enviado la forma traducida al español de la declaración de conflictos potenciales de interés del Comité Internacional de Editores de Revistas Médicas, y no fue reportado alguno que tuviera relación con este artículo.

## Referencias

- Vázquez-García JC, Pérez-Padilla R. Valores gasométricos estimados para las principales poblaciones y sitios a mayor altitud en México. *Rev Inst Nal Enf Resp Mex.* 2000;13:6-13.
- Pérez-Martínez SO, Pérez-Padilla JR. Valores gasométricos en sujetos sanos reportados en la población mexicana: revisión y análisis. *Rev Inv Clin.* 1992;44:353-362.
- Lizardi-García D, Pérez-Padilla JR. Las altitudes sobre el nivel del mar en México: Principales poblaciones, carreteras, vías férreas, montañas, y viajes aéreos. Guías para los neumólogos y sus pacientes. *Neumol Cir Torax.* 1993;52(1):7-14.
- Martin D, Windsor J. From mountain to bedside: understanding the clinical relevance of human acclimatization to high-altitude hypoxia. *Postgrad Med J.* 2008;84(998):622-27. doi: 10.1136/pgmj.2008.068296.
- Bartsch P, Saltin B, Dvorak, J. Consensus statement on playing football at different altitude. *Scandinavian J Sport Sci Med.* 2008; 18(Suppl 1):96-9. doi: 10.1111/j.1600-0838.2008.00837.x.
- Swenson ER. Hypoxic pulmonary vasoconstriction. *High Alt Med Biol.* 2013;14(2):101-8. doi: 10.1089/ham.2013.1010.
- Penaloza D, Arias Stella J. The heart and pulmonary circulation at high altitudes. Healthy highlanders and Chronic Mountain Sickness. *Circulation.* 2007;115(9):1132-44. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.106.624544.
- Penaloza D. Effects of high-altitude exposure on the pulmonary circulation. *Rev Esp Cardiol.* 2012;65(12):1075-78. doi: 10.1016/j.recesp.2012.06.027.
- Murillo JC, Salinas SC, López MJJ, Villena CM. Función ventricular derecha en residentes nativos a gran altura. *J Health Med Sci.* 2020;6(2):113-22.
- Santos-Martínez LE, Gómez-Tejada RA, Murillo-Jauregui CX, Hoyos-Paladines RA, Poyares-Jardim CV, Orozco-Levi M. Exposición crónica a la altitud. Características clínicas y diagnóstico. *Arch Cardiol Mex.* 2021. doi: 10.24875/ACM.20000447.
- León-Velarde F, Gamboa A, Chuquiza JA, Esteba WA, Rivera-Chira M, Monge C. Hematological parameters in high altitude residents living at 4355, 4660, and 5500 meters above sea level. *High Alt Med Biol.* 2000;1(2):97-104.
- Gassmann M, Mairbäurl H, Livshits L, Seide S, Hackbusch M, Monika Malczyk M, et al. The increase in hemoglobin concentration with altitude varies among human populations. *Ann NY Acad Sci.* 2019;1450:204-20. doi: 10.1111/nyas.14136.
- Stuber T, Scherrer U. Circulatory adaption to long term high altitude exposure in Aymaras and Caucasians. *Prog Cardiovasc Dis.* 2010;52:534-39. doi: 10.1016/j.pcad.2010.02.009.
- Mireles VM, Sánchez MR, Mira AML. Valores Normales de pH, PaCO<sub>2</sub>, Saturación de oxígeno, Deficiencia y Exceso Base, Base Buffer, Bicarbonato Estandar y actual en la Ciudad de México. *Rev Mex Anest.* 1969;18:335-41.
- Staines E, García-Trigueros J, Muñoz-Bojalil B. Algunos aspectos de la función cardiopulmonar en la Ciudad de México. *Neumol Cir Tórax Méx.* 1971;32(6):369-86.
- Muñoz-Bojalil BR. Estudios de ventilación pulmonar, de gases y pH en sangre arterial en sujetos sanos. en la Ciudad de México. (Sujetos estabilizados). *Neumol Cir Torax Méx.* 1972;33:133-38.
- Martínez-Guerra ML, Fernández-Bonetti P, Balvanera-Abreu A, Correa SR, Elizalde-Ramos A, Soni-Cassani J. Valores normales de algunas de las medidas de la función respiratoria en la Ciudad de México. *Prensa Med Mex.* 1973;1:1-5.
- Muñoz-Bojalil BR, Díaz-Mejía GS, Garnica-Villalpando B. Límites de variación y de confianza de algunos estudios de la función respiratoria. *Neumol Cir Tórax Méx.* 1974;35(5): 331-41.
- Pérez-Neria J, Gardida A, Pérez-Becerra JL, Reyes-Cunningham G. Gasometría arterial en niños durante el ejercicio. *Neumol Cir Torax Méx.* 1980;41:33-7.
- Rico-Méndez FG, Urias-Almada P, Barquera CS, Ochoa-Jiménez LG, Padilla-Navarro MA, Meneses-Guzmán LC, et al. Valores espirométricos y gasométricos en una población geriátrica sana, a diferentes alturas sobre el nivel del mar, en la República Mexicana. *Rev Inst Nal Enf Resp Mex.* 2001;14 (2):90-8.
- Yap CYF, Choon Ar T. Arterial blood gases. *Proc Singapore Healthc.* 2011;20(3):227-35.
- Graham BL, Steenbruggen I, Miller MR, Barjaktarevic IZ, Cooper BG, Hall GL, et al. Standardization of Spirometry 2019 Update. An Official American Thoracic Society and European Respiratory Society Technical Statement. *Am J Respir Crit Care Med.* 2019;200(8):e70-e88. doi: 10.1164/rccm.201912-2530LE.
- Pérez-Padilla R, Valdivia G, Muiño A, López MV, Márquez MN, et al. Spirometric reference values in 5 large Latin American cities for subjects aged 40 years or over. *Arch Bronconeumol.* 2006;42(7):317-25. doi: 10.1016/s1579-2129(06)60540-5.
- Allen EV. Thromboangiitis obliterans: Methods of diagnosis of chronic occlusive arterial lesions distal to the wrist with illustrative cases. *Am J Med Sci.* 1929;178:237-44.
- Santos-Martínez LE, Gómez-López L, Arias-Jiménez A, Quevedo-Paredes J. Deterioro del intercambio gaseoso en sujetos con incremento del índice de masa corporal a una altitud de 2,240 metros sobre el nivel del mar. *Arch Cardiol Mex.* 2021;91(1):7-16. doi: 10.24875/ACM.20000407.
- Díaz-Domínguez E, Rosas-Peralta M, Santos-Martínez LE,

- Rodríguez-Almendros NA, Magaña-Serrano JA, Pérez-Rodríguez G. El síndrome de hipoventilación del obeso y la hipertensión pulmonar. Una asociación poco conocida en México. *Rev Med Inst Mex Seguro Soc.* 2018;56(1):72-83.
27. Vázquez-García JC, Hernández-Zenteno RJ, Pérez-Padilla JR, Cano-Salas MC, Fernández-Vega M, Salas-Hernández J, et al. Guía de Práctica Clínica Mexicana para el diagnóstico

y tratamiento de la enfermedad pulmonar obstructiva crónica. *Neumol Cir Torax.* 2019;78(Supl. 1):s1-s76.

.....  
**Cómo citar este artículo:** Santos-Martínez LE, Arias-Jiménez A, Quevedo-Paredes J, Gómez-López L, Ordoñez-Reyna A, Moreno-Ruiz LA. Caracterización de parámetros del intercambio gaseoso en la Ciudad de México. *Rev Med Inst Mex Seguro Soc.* 2021;59(6):473-81.