

Valores gasométricos estimados para las principales poblaciones y sitios a mayor altitud en México

Juan Carlos Vázquez García*
Rogelio Pérez Padilla ‡

Palabras clave: Análisis de gases sanguíneos, altitud, valores de referencia, México.
Key words: Blood gas analysis, altitude, reference values, Mexico.

RESUMEN

Antecedentes: En México existe una gran diversidad geográfica con respecto a la altitud. Sin embargo, no se cuenta con suficiente información acerca de los valores gasométricos normales a diferentes alturas sobre el nivel del mar.

Objetivo: Estimar los valores de gases arteriales para las principales ciudades y sitios a mayor altura sobre el nivel del mar en México usando un modelo teórico previamente publicado.

Métodos: Los cálculos se realizaron basándose en ecuaciones de regresión lineal para estimar los valores de PaCO_2 en exposición aguda a la altura ($\text{PaCO}_2 = 37.78 - 0.908A$, donde A es la altura en km) y en aclimatación ($\text{PaCO}_2 = 38.3 - 2.5A$). Los valores de P_AO_2 se estimaron usando la ecuación de gas alveolar, partiendo de presiones barométricas calculadas a partir de la altura. Finalmente, la PaO_2 se obtuvo usando una diferencia alveolo-arterial de 6 mmHg (promedio para sujetos jóvenes en México).

Resultados: Se presentan los gases arteriales estimados para las principales ciudades y las poblaciones, estaciones de ferrocarril y montañas a mayor altitud en México.

Conclusión: Los valores estimados pueden ser de gran utilidad ante la ausencia de valores normales a diferentes altitudes. Sin embargo, deben de tomarse con precaución pues pueden diferir de los reales debido a factores geográficos, atmosféricos y biológicos.

ABSTRACT

Background: Great geographical diversity exists in Mexico with respect to altitude. However, information on normal gasometric values at various altitudes is scarce.

Objective: To calculate the gasometric values for the largest cities and highest places in Mexico using a previously published theoretical model.

Methods: PaCO_2 values were calculated using two linear regression models for acute exposure to altitude ($\text{PaCO}_2 = 37.78 - 0.908A$, where A is the altitude in km), and after acclimatization ($\text{PaCO}_2 = 38.3 - 2.5A$), P_AO_2 values were calculated with the alveolar gas equation based on barometric pressure values estimated from the altitude. Finally, PaO_2 was obtained considering an alveolar-arterial difference of 6 mmHg (average for young individuals in Mexico). **Results:** Calculated values for PaO_2 , P_AO_2 and PaCO_2 are presented for the largest cities and the highest towns, train stations and mountains in Mexico.

Conclusion: Calculated gasometric values can be of much use in absence of reference values in Mexico. However, users should consider the possible differences with real values due to geographic, atmospheric and biological factors.

* Departamento de Fisiología Respiratoria y Laboratorio de Sueño, INER, México, DF.

‡ Director Médico, INER.

Correspondencia:

Dr. Juan Carlos Vázquez G.

Calzada de Tlalpan 4502. Col. Sección XVI

México, D.F., 14080. Tel. (5) 666 8640. Fax: (5) 665 4748

E-mail: jcvazquez@compuserve.com.mx

Trabajo recibido: 17-II-2000; Aceptado: 20-III-2000

INTRODUCCIÓN

En México existe una gran diversidad geográfica con respecto a la altitud. Previamente, se han descrito las altitudes de las principales ciudades y de las poblaciones, carreteras, vías férreas y montañas a mayor altitud sobre el nivel del mar en México¹. Sobresalen 37 ciudades localizadas a más de 1,000 m de altura, siete de las cuales rebasan los 2,000 m. Más aún, existen múltiples poblaciones no urbanas y sitios montañosos que rebasan los límites considerados de gran altitud (3,000 m).

La presión barométrica disminuye casi linealmente con respecto a la altitud hasta los primeros 5,000 m. Consecuentemente, existe un efecto significativo en los valores gasométricos conforme cambia la altura. Los valores gasométricos normales han sido descritos en la ciudad de México y en sitios a alturas similares². Sin embargo, desconocemos cuáles son los valores normales en otras altitudes. Recientemente, se ha descrito un modelo teórico que permite estimar valores gasométricos a diferentes altitudes sobre el nivel del mar en el país³. En el presente trabajo se pretende complementar esta información usando la misma metodología para calcular los valores gasométricos específicos destinadas a las principales poblaciones y sitios a mayor altitud en nuestro país, como una guía para neumólogos, especialistas relacionados y sus pacientes.

MÉTODOS

La metodología utilizada para los cálculos realizados ha sido descrita en detalle previamente³. La altura se muestra siempre en km sobre el nivel del mar y las presiones de los gases en mmHg. Los cálculos realizados se resumen a continuación:

- Se calcularon los valores de PaCO_2 partiendo de dos modelos de regresión lineal descritos a partir de valores gasométricos durante exposición aguda a la altitud (personas en ascenso inmediato desde el nivel del mar) y permitiendo aclimatación, es decir, residentes de muchos años en sitios a diferentes altitudes³⁻⁶. Como variable independiente se usa la altura y como variable dependiente el valor de PaCO_2 . Las ecuaciones son: $\text{PaCO}_2 = 37.78 - 0.908A$ para exposición aguda y $\text{PaCO}_2 = 38.3 - 2.5A$ para aclimatados a menos de 5 km, donde A es la altura en km. Estas ecuaciones se aproximan mucho a un modelo de regresión lineal con dos puntos, usando los promedios normales de PaCO_2 para las alturas de la ciudad de México y del nivel del mar³.
- Se calculó la presión barométrica para cada altitud usando la ecuación descrita por Zuntz, que aproxima bastante las medidas hasta alturas moderadas cuando se utiliza una temperatura de 15°C⁶.

$$\log_{10} \text{Pbar} = \log_{10}(760) - [A / (72 * (256.4 + T))]]$$

Donde A es la altura en metros y T es la temperatura en grados centígrados. Para todos los cálculos se usaron 15°.

- Se usó la ecuación de gas alveolar para calcular la presión alveolar de oxígeno (P_AO_2) para cada altitud:

$$\text{P}_A\text{O}_2 = 0.21(\text{Pbar} - 47) - (\text{PaCO}_2 / R) + 0.21\text{PaCO}_2 / R(1 - R)$$

Donde Pbar es la presión barométrica, 0.21 es la fracción inspirada de oxígeno, y R es el cociente respiratorio, que se aproximó a 0.8, valor frecuente en estado estable con una dieta mixta.

- Teniendo la P_AO_2 , se calculó la PaO_2 atribuyendo una diferencia alveolo-arterial de oxígeno ($\text{P}_A - \text{aO}_2$) de 6 mmHg que es el promedio descrito en personas jóvenes de la ciudad de México. Sin embargo, la $\text{P}_A - \text{aO}_2$ disminuye con la edad (1/3-1/4 de la edad en años).

RESULTADOS

La Tabla I muestra las altitudes sobre el nivel del mar, presiones barométricas y de gases estimadas para las principales ciudades, incluyendo la mayoría de las ciudades capitales en México por orden alfabético. La Tabla II muestra los datos para las poblaciones de mayor altitud, ordenadas de manera descendente de acuerdo a la altitud. La Tabla III presenta las altitudes y presiones estimadas para otras poblaciones altas no incluidas en las tablas previas. En la Tabla IV se muestran los valores calculados para estaciones de ferrocarril a mayor altura sobre el nivel del mar. Los datos para las montañas y volcanes más altos se muestran en la Tabla V. Los valores calculados para los volcanes con alturas superiores a los 5,000 m deben tomarse con mayor cautela debido a que los valores de PaCO_2 dejan de ser lineales. En las Tablas VI y VII se muestran los sitios y montañas, respectivamente, más altos de la ciudad de México.

DISCUSIÓN

Los valores descritos en todas las Tablas deben tomarse con precaución debido a que representan estimaciones teóricas y pueden variar de los valores reales. No obstante, esta diferencia puede ser pequeña; por ejemplo, los valores de PaO_2 y PaCO_2 estimados para sujetos aclimatados de la ciudad de México a 2,238 m son de 65.9 y 32.7 mmHg, respectivamente, mientras que los medidos son en promedio de 67 y 31 mmHg³.

Los cálculos realizados partieron de la estimación de las presiones barométricas a partir de la altura. Sin embargo, las presiones barométricas reales pueden diferir debido a condiciones geográficas y atmosféricas. Por ejemplo, la presión barométrica calculada para la ciudad de México es de 583.4 mmHg mientras que la medida directamente es de 585 mmHg. La estimación de los valores de PaCO_2 son el punto principal de los cálculos ya que representa la respuesta ventilatoria a la altura. Los valores de PaCO_2 están calculados para exposición aguda a la altura y para sujetos aclimatados (residentes permanentes de diferentes alturas sobre el nivel del mar en Estados Unidos de Norteamérica^{4,5}. Estos últimos son los que concuerdan más con los datos disponibles en México³. Los valores de P_AO_2 y PaO_2 se obtienen usando la ecuación de gas alveolar y restando la $\text{P}_A - \text{aO}_2$ a la PaO_2 , respectivamente. En todos los cálculos se usó una $\text{P}_A - \text{aO}_2$ de 6 mmHg que aplica para sujetos jóvenes en México². Debe aclararse que la $\text{P}_A - \text{aO}_2$ se acerca 1/4 a 1/3 de la edad, por lo que los

Tabla I. Altitud y presiones estimadas de gases en las principales ciudades de la República Mexicana.

Ciudad	Altura (km)	Pbar	Exposición aguda			Aclimatados		
			PaCO ₂	P _A O ₂	PaO ₂	PaCO ₂	P _A O ₂	PaO ₂
Nivel del mar	0.000	760.0	37.8	102.5	96.5	38.3	101.9	95.9
Aguascalientes, Ags.	1.867	609.9	36.1	73.1	67.1	33.6	76.2	70.2
Celaya, Gto.	1.754	618.1	36.2	74.7	68.7	33.9	77.5	71.5
Cd. Delicias	1.171	662.0	36.7	83.3	77.3	35.4	84.9	78.9
Ciudad de México	2.238	583.8	35.7	68.0	62.0	32.7	71.9	65.9
Cd. Guzmán, Jal.	1.535	634.2	36.4	77.8	71.8	34.5	80.2	74.2
Cd. Juárez, Chih.	1.133	665.0	36.8	83.8	77.8	35.5	85.4	79.4
Cd. Mante, Tamps.	0.090	752.0	37.7	100.9	94.9	38.1	100.5	94.5
Cd. Obregón, Son.	0.035	756.9	37.7	101.9	95.9	38.2	101.3	95.3
Cd. Victoria, Tamps.	0.311	732.7	37.5	97.1	91.1	37.5	97.1	91.1
Colima, Col.	0.494	717.0	37.3	94.0	88.0	37.1	94.4	88.4
Córdoba, Ver.	0.927	681.4	36.9	87.0	81.0	36.0	88.2	82.2
Cuernavaca, Mor.	1.528	634.8	36.4	77.9	71.9	34.5	80.3	74.3
Culiacán, Sin.	0.050	755.5	37.7	101.6	95.6	38.2	101.1	95.1
Chihuahua, Chih.	1.435	641.8	36.5	79.3	73.3	34.7	81.5	75.5
Chilpancingo, Gro.	1.253	655.7	36.6	82.0	76.0	35.2	83.9	77.9
Durango, Dgo.	1.886	608.5	36.1	72.8	66.8	33.6	75.9	69.9
Ensenada, B.C.	0.024	757.9	37.8	102.1	96.1	38.2	101.5	95.5
Gómez Palacio, Dgo.	1.131	665.2	36.8	83.9	77.9	35.5	85.5	79.5
Guadalajara, Jal.	1.547	633.3	36.4	77.7	71.7	34.4	80.1	74.1
Guanajuato, Gto.	2.050	596.9	35.9	70.6	64.6	33.2	74.0	68.0
Hermosillo, Son.	0.200	742.3	37.6	99.0	93.0	37.8	98.8	92.8
Hidalgo del Parral	1.740	619.1	36.2	74.9	68.9	34.0	77.7	71.7
Irapuato, Gto.	1.435	641.8	36.5	79.3	73.3	34.7	81.5	75.5
Jalapa, Ver.	1.435	641.8	36.5	79.3	73.3	34.7	81.5	75.5
La Paz, B.C.S.	0.030	757.3	37.8	102.0	96.0	38.2	101.4	95.4
León, Gto.	1.804	614.5	36.1	74.0	68.0	33.8	76.9	70.9
Minatitlán, Ver.	0.064	754.3	37.7	101.4	95.4	38.1	100.9	94.9
Monclova, Coah.	0.608	707.5	37.2	92.2	86.2	36.8	92.7	86.7
Monterrey, N.L.	0.522	714.7	37.3	93.6	87.6	37.0	94.0	88.0
Morelia, Mich.	1.914	606.5	36.0	72.5	66.5	33.5	75.6	69.6
Nogales, Son.	1.120	666.0	36.8	84.0	78.0	35.5	85.6	79.6
Nuevo Laredo, Tamps.	0.140	747.6	37.7	100.1	94.1	38.0	99.7	93.7
Oaxaca, Oax.	1.558	632.5	36.4	77.5	71.5	34.4	80.0	74.0
Orizaba, Ver.	1.248	656.1	36.6	82.1	76.1	35.2	83.9	77.9
Pachuca, Hgo.	2.399	572.8	35.6	65.9	59.9	32.3	70.1	64.1
Poza Rica, Ver.	0.060	754.6	37.7	101.4	95.4	38.2	100.9	94.9
Puebla, Pue.	2.144	590.3	35.8	69.3	63.3	32.9	72.9	66.9
Querétaro, Qro.	1.816	613.6	36.1	73.8	67.8	33.8	76.8	70.8
Salamanca, Gto.	1.723	620.3	36.2	75.1	69.1	34.0	77.9	71.9
Saltillo, Coah.	1.568	631.8	36.4	77.4	71.4	34.4	79.8	73.8
San Cristóbal Casas, Chis.	2.100	593.4	35.9	69.9	63.9	33.1	73.4	67.4
San José del Cabo, B.C.S.	0.040	756.4	37.7	101.8	95.8	38.2	101.2	95.2
San Luis Potosí, S.L.P.	1.867	609.9	36.1	73.1	67.1	33.6	76.2	70.2
San Miguel de Allende, Gto.	1.870	609.7	36.1	73.1	67.1	33.6	76.1	70.1
Taxco, Gro.	1.755	618.0	36.2	74.7	68.7	33.9	77.5	71.5
Tapachula, Chis.	0.178	744.2	37.6	99.4	93.4	37.9	99.1	93.1
Tehuacán, Pue.	1.676	623.8	36.3	75.8	69.8	34.1	78.5	72.5
Tepic, Nay.	0.934	680.8	36.9	86.9	80.9	36.0	88.1	82.1
Tijuana, B.C.	0.778	693.4	37.1	89.4	83.4	36.4	90.3	84.3
Tlaxcala, Tlax.	2.229	584.4	35.8	68.2	62.2	32.7	72.0	66.0
Toluca, Méx.	2.651	556.1	35.4	62.7	56.7	31.7	67.3	61.3
Torreón, Coah.	1.131	665.2	36.8	83.9	77.9	35.5	85.5	79.5
Tuxtla Gutiérrez, Chis.	0.536	713.5	37.3	93.3	87.3	37.0	93.8	87.8
Uruapan, Mich.	1.610	628.7	36.3	76.8	70.8	34.3	79.3	73.3
Zamora, Mich.	1.540	633.9	36.4	77.8	71.8	34.5	80.2	74.2
Zacatecas, Zac.	2.410	572.1	35.6	65.8	59.8	32.3	69.9	63.9

Todas las presiones de los gases se muestran en mmHg. Los valores para exposición aguda se refieren a personas que ascienden desde el nivel del mar a sitios de mayor altitud, mientras que los valores para aclimatados representan a residentes de muchos años en diferentes altitudes.

Tabla II. Altitudes y presiones estimadas de gases de poblaciones mexicanas a mayor altura sobre el nivel del mar.

Población	Altura (km)	Pbar	Exposición aguda			Aclimatados		
			PaCO ₂	P _A O ₂	PaO ₂	PaCO ₂	P _A O ₂	PaO ₂
Poblado de Raíces, Méx.	3.500	503.1	34.6	52.5	46.5	29.6	58.9	52.9
La Marquesa-Salazar, Méx.	3.000	533.7	35.1	58.4	52.4	30.8	63.7	57.7
Parres, D.F.	2.995	534.0	35.1	58.4	52.4	30.8	63.8	57.8
San Lorenzo Acopilco, Méx.	2.940	537.5	35.1	59.1	53.1	31.0	64.3	58.3
San Miguel Ajusco, D.F.	2.925	538.4	35.1	59.3	53.3	31.0	64.5	58.5
Col. Gral. Ávila Camacho, Méx.	2.880	541.3	35.2	59.8	53.8	31.1	64.9	58.9
San Juan de los Huertos, Méx.	2.850	543.2	35.2	60.2	54.2	31.2	65.2	59.2
Santiago Tlacotepec, Méx.	2.820	545.1	35.2	60.6	54.6	31.3	65.5	59.5
Poblado de Tres Marías, Mor.	2.800	546.4	35.2	60.8	54.8	31.3	65.8	59.8
Huixquilucan, Méx.	2.800	546.4	35.2	60.8	54.8	31.3	65.8	59.8
Cuajimalpa, D.F.	2.788	547.2	35.2	61.0	55.0	31.3	65.9	59.9
Joquicingo, Méx.	2.750	549.6	35.3	61.5	55.5	31.4	66.3	60.3
Real del Monte, Hgo.	2.750	549.6	35.3	61.5	55.5	31.4	66.3	60.3
El Oro de Hidalgo, Méx.	2.730	550.9	35.3	61.7	55.7	31.5	66.5	60.5
Toluca, Méx.	2.651	556.1	35.4	62.7	56.7	31.7	67.3	61.3
San Miguel Topilejo, D.F.	2.650	556.2	35.4	62.7	56.7	31.7	67.3	61.3
Tenango de Arisa, Méx.	2.637	557.0	35.4	62.9	56.9	31.7	67.5	61.5
San Miguel Canoa, Pue.	2.635	557.1	35.4	62.9	56.9	31.7	67.5	61.5
Anganguao, Mich.	2.628	557.6	35.4	63.0	57.0	31.7	67.6	61.6
Jalatlaco, Méx.	2.606	559.0	35.4	63.3	57.3	31.8	67.8	61.8
San Mateo Atenco, Méx.	2.600	559.4	35.4	63.3	57.3	31.8	67.9	61.9
Otumba, Méx.	2.600	559.4	35.4	63.3	57.3	31.8	67.9	61.9
Capulhuac de Mirafuentes, Méx.	2.599	559.5	35.4	63.4	57.4	31.8	67.9	61.9
Hueyotlipan, Tlax.	2.581	560.7	35.4	63.6	57.6	31.8	68.1	62.1
Calpulalpan, Tlax.	2.578	560.9	35.4	63.6	57.6	31.9	68.1	62.1
Lerma, Méx.	2.578	560.9	35.4	63.6	57.6	31.9	68.1	62.1
Huamantla, Tlax.	2.553	562.5	35.5	63.9	57.9	31.9	68.4	62.4
Rayón, Méx.	2.550	562.7	35.5	64.0	58.0	31.9	68.4	62.4
Ciudad Cerdán, Pue.	2.540	563.4	35.5	64.1	58.1	32.0	68.5	62.5
Omitlán de Juárez, Pue.	2.537	563.6	35.5	64.1	58.1	32.0	68.5	62.5
Zempoala, Hgo.	2.532	563.9	35.5	64.2	58.2	32.0	68.6	62.6
Singuilucan, Hgo.	2.515	565.1	35.5	64.4	58.4	32.0	68.8	62.8
Yauhquemecha, Tlax.	2.515	565.1	35.5	64.4	58.4	32.0	68.8	62.8
Amazac de Guerrero, Tlax.	2.519	564.8	35.5	64.4	58.4	32.0	68.7	62.7
Nopaltepec, Méx.	2.500	566.1	35.5	64.6	58.6	32.1	68.9	62.9
Acambay, Méx.	2.500	566.1	35.5	64.6	58.6	32.1	68.9	62.9
Ozumba, Méx.	2.500	566.1	35.5	64.6	58.6	32.1	68.9	62.9
Progreso Industrial, Méx.	2.499	566.1	35.5	64.6	58.6	32.1	69.0	63.0
Apan Hidalgo, Tlax.	2.493	566.5	35.5	64.7	58.7	32.1	69.0	63.0
Xaltocan, Tlax.	2.492	566.6	35.5	64.7	58.7	32.1	69.0	63.0
Nopalucan, Pue.	2.490	566.7	35.5	64.7	58.7	32.1	69.1	63.1
Acajete, Pue.	2.469	568.1	35.5	65.0	59.0	32.1	69.3	63.3
Perote, Ver.	2.465	568.4	35.5	65.1	59.1	32.1	69.3	63.3
Villa Nicolás Romero, Méx.	2.420	571.4	35.6	65.7	59.7	32.3	69.8	63.8
Apizaco, Tlax.	2.408	572.2	35.6	65.8	59.8	32.3	70.0	64.0

Todas las presiones de los gases se muestran en mmHg. Los valores para exposición aguda se refieren a personas que ascienden desde el nivel del mar a sitios de mayor altitud, mientras que los valores para aclimatados representan a residentes de muchos años en diferentes altitudes.

Tabla III. Altitud y presiones estimadas de gases de otras poblaciones altas (excepto ciudades principales ya mencionadas).

Población	Altura (km)	Pbar	Exposición aguda			Aclimatados		
			PaCO ₂	P _A O ₂	PaO ₂	PaCO ₂	P _A O ₂	PaO ₂
Cuencame, Dgo.	2.800	546.4	35.2	60.8	54.8	31.3	65.8	59.8
Atlacmulco de Fabela, Méx.	2.526	564.3	35.5	64.3	58.3	32.0	68.7	62.7
Esperanza, Ver.	2.520	564.7	35.5	64.4	58.4	32.0	68.7	62.7
Amaxac de Guerrero, Tlax.	2.519	564.8	35.5	64.4	58.4	32.0	68.7	62.7
Yauhquemecha, Tlax.	2.515	565.1	35.5	64.4	58.4	32.0	68.8	62.8
Cuapixtla, Tlax.	2.483	567.2	35.5	64.8	58.8	32.1	69.1	63.1
Amecameca de Juárez, Méx.	2.470	568.1	35.5	65.0	59.0	32.1	69.3	63.3
Acajete, Pue.	2.469	568.1	35.5	65.0	59.0	32.1	69.3	63.3
San Salvador el Seco, Pue.	2.450	569.4	35.6	65.3	59.3	32.2	69.5	63.5
Tepatlatxco de Hgo., Pue.	2.372	574.7	35.6	66.3	60.3	32.4	70.3	64.3
El Carmen, Tlax.	2.348	576.3	35.6	66.6	60.6	32.4	70.6	64.6
Oriental, Pue.	2.345	576.5	35.7	66.6	60.6	32.4	70.6	64.6
Tecamán, Méx.	2.340	576.8	35.7	66.7	60.7	32.5	70.7	64.7
Amozoc, Pue.	2.331	577.5	35.7	66.8	60.8	32.5	70.8	64.8
Tlamanalco, Méx.	2.312	578.8	35.7	67.1	61.1	32.5	71.0	65.0
Metepec, Teotihuacán, Méx.	2.309	579.0	35.7	67.1	61.1	32.5	71.1	65.1
Aculco	2.309	579.0	35.7	67.1	61.1	32.5	71.1	65.1
Ixtapaluca, Méx.	2.300	579.6	35.7	67.2	61.2	32.6	71.2	65.2
Aquiles Serdán	2.284	580.7	35.7	67.4	61.4	32.6	71.3	65.3
Chalco, Méx.	2.280	580.9	35.7	67.5	61.5	32.6	71.4	65.4
Huejotzingo, Pue.	2.280	580.9	35.7	67.5	61.5	32.6	71.4	65.4
San Martín Texmelucan, Pue.	2.278	581.1	35.7	67.5	61.5	32.6	71.4	65.4
Texcoco, Méx.	2.278	581.1	35.7	67.5	61.5	32.6	71.4	65.4
Tizayuca, Méx.	2.270	581.6	35.7	67.6	61.6	32.6	71.5	65.5
Tepeaca, Pue.	2.257	582.5	35.7	67.8	61.8	32.7	71.6	65.6
Fresnillo, Zac.	2.250	583.0	35.7	67.9	61.9	32.7	71.7	65.7
El Carmen, Tlax.	2.238	583.8	35.7	68.0	62.0	32.7	71.9	65.9
Calera Víctor Rosales, Zac.	2.236	584.0	35.7	68.1	62.1	32.7	71.9	65.9
Chicoloapan, Méx.	2.235	584.0	35.8	68.1	62.1	32.7	71.9	65.9
Tulancingo, Hgo.	2.222	584.9	35.8	68.3	62.3	32.7	72.0	66.0
Españita, Tlax.	2.209	585.8	35.8	68.4	62.4	32.8	72.2	66.2
Acatzingo, Pue.	2.160	589.2	35.8	69.1	63.1	32.9	72.7	66.7
Cholula, Pue.	2.150	589.9	35.8	69.2	63.2	32.9	72.9	66.9
Atotonilco el Grande, Hgo.	2.138	590.7	35.8	69.4	63.4	33.0	73.0	67.0
Chimalhuacán, Méx.	2.130	591.3	35.8	69.5	63.5	33.0	73.1	67.1
Ojo Caliente, Zac.	2.114	592.4	35.9	69.7	63.7	33.0	73.3	67.3
Concepción del Oro, Zac.	2.070	595.5	35.9	70.3	64.3	33.1	73.8	67.8
Tecamachalco, Pue.	2.055	596.5	35.9	70.5	64.5	33.2	74.0	68.0
Nochistlán, Tlax.	2.050	596.9	35.9	70.6	64.6	33.2	74.0	68.0
Villa del Cos, Zac.	2.050	596.9	35.9	70.6	64.6	33.2	74.0	68.0
Tenancingo, Méx.	2.022	598.9	35.9	71.0	65.0	33.2	74.3	68.3
San Luis de la Paz, Gto.	2.020	599.0	35.9	71.0	65.0	33.3	74.4	68.4
Zacualtipan, Hgo.	2.020	599.0	35.9	71.0	65.0	33.3	74.4	68.4
Zapotlán de Juárez, Hgo.	2.000	600.4	36.0	71.3	65.3	33.3	74.6	68.6
Dolores Hgo., Gto.	1.987	601.3	36.0	71.4	65.4	33.3	74.7	68.7
San Juan del Río, Qro.	1.978	602.0	36.0	71.6	65.6	33.4	74.9	68.9
Villanueva, Zac.	1.955	603.6	36.0	71.9	65.9	33.4	75.1	69.1
Lagos de Moreno, Jal.	1.942	604.5	36.0	72.1	66.1	33.4	75.3	69.3
Rincón de Ramos, Ags.	1.927	605.6	36.0	72.3	66.3	33.5	75.5	69.5
Ixtapa de la Sal, Méx.	1.900	607.5	36.1	72.6	66.6	33.6	75.8	69.8
Cuitzeo, Mich.	1.883	608.8	36.1	72.9	66.9	33.6	76.0	70.0
Yahualica, Jal.	1.880	609.0	36.1	72.9	66.9	33.6	76.0	70.0
Río Grande, Zac.	1.870	609.7	36.1	73.1	67.1	33.6	76.1	70.1
Encarnación de Díaz	1.864	610.1	36.1	73.1	67.1	33.6	76.2	70.2
Cañón de la Esperanza, BC	1.830	612.6	36.1	73.6	67.6	33.7	76.6	70.6
Cuanusco, Zac.	1.830	612.6	36.1	73.6	67.6	33.7	76.6	70.6
Villa de Reyes, SLP	1.819	613.4	36.1	73.8	67.8	33.8	76.7	70.7
Zimapan, Hgo.	1.813	613.8	36.1	73.9	67.9	33.8	76.8	70.8
Jalpa, Zac.	1.800	614.7	36.1	74.0	68.0	33.8	77.0	71.0
Xochicoatlán, Hgo.	1.790	615.5	36.2	74.2	68.2	33.8	77.1	71.1
Silao, Gto.	1.772	616.8	36.2	74.4	68.4	33.9	77.3	71.3
Moroleón, Gto.	1.770	616.9	36.2	74.5	68.5	33.9	77.3	71.3
Valle de Santiago, Gto.	1.760	617.6	36.2	74.6	68.6	33.9	77.5	71.5
Nombre de Dios, Dgo.	1.734	619.5	36.2	75.0	69.0	34.0	77.8	71.8
Tasquillo, Hgo.	1.720	620.6	36.2	75.2	69.2	34.0	77.9	71.9
Santa María del Río, SLP	1.703	621.8	36.2	75.4	69.4	34.0	78.2	72.2
Lolotla, Hgo.	1.700	622.0	36.2	75.5	69.5	34.1	78.2	72.2

Todas las presiones de los gases se muestran en mmHg. Los valores para exposición aguda se refieren a personas que ascienden desde el nivel del mar a sitios de mayor altitud, mientras que los valores para aclimatados representan a residentes de muchos años en diferentes altitudes.

Tabla IV. Altitudes y presiones estimadas de gases en estaciones de Ferrocarril a mayor altura sobre el nivel del mar.

Estación	Altura (km)	Pbar	Exposición aguda			Aclimatados		
			PaCO ₂	P _A O ₂	PaO ₂	PaCO ₂	P _A O ₂	PaO ₂
Coronango, Pue	3.174	522.9	34.9	56.3	50.3	30.4	62.0	56.0
La Cima, Méx.	3.054	530.3	35.0	57.7	51.7	30.7	63.2	57.2
El Oro, Méx.	3.040	531.2	35.0	57.9	51.9	30.7	63.3	57.3
Cima, D.F.	3.012	532.9	35.0	58.2	52.2	30.8	63.6	57.6
Parrés, D.F.	2.995	534.0	35.1	58.4	52.4	30.8	63.8	57.8
Salazar, Méx	2.989	534.4	35.1	58.5	52.5	30.8	63.8	57.8
Toro, Mor.	2.946	537.1	35.1	59.0	53.0	30.9	64.2	58.2
San Martín, Méx.	2.916	539.0	35.1	59.4	53.4	31.0	64.6	58.6
Carretera, Méx.	2.902	539.9	35.1	59.6	53.6	31.0	64.7	58.7
Ajusco, D.F.	2.839	543.9	35.2	60.3	54.3	31.2	65.3	59.3
Laurel, Méx.	2.834	544.2	35.2	60.4	54.4	31.2	65.4	59.4
Tres cumbres, Mor.	2.802	546.3	35.2	60.8	54.8	31.3	65.7	59.7
Tepunte, Tlax.	2.787	547.2	35.2	61.0	55.0	31.3	65.9	59.9
Fresno, Méx.	2.773	548.2	35.3	61.2	55.2	31.4	66.0	60.0
Maravillas, Hgo.	2.760	549.0	35.3	61.3	55.3	31.4	66.2	60.2
Coyotes, Dgo.	2.733	550.7	35.3	61.7	55.7	31.5	66.5	60.5
Nava, Méx.	2.732	550.8	35.3	61.7	55.7	31.5	66.5	60.5
Arroyo, Tlax.	2.721	551.5	35.3	61.8	55.8	31.5	66.6	60.6
Jajalpa, Méx.	2.707	552.4	35.3	62.0	56.0	31.5	66.7	60.7
Mazapa, Tlax.	2.706	552.5	35.3	62.0	56.0	31.5	66.7	60.7
Tauro, Zac.	2.680	554.2	35.3	62.3	56.3	31.6	67.0	61.0
Dos Ríos, Méx.	2.644	556.5	35.4	62.8	56.8	31.7	67.4	61.4
Toluca, Méx.	2.640	556.8	35.4	62.8	56.8	31.7	67.4	61.4
Los Bancos, Dgo.	2.627	557.7	35.4	63.0	57.0	31.7	67.6	61.6
Palmillas, Méx.	2.626	557.7	35.4	63.0	57.0	31.7	67.6	61.6
Pres, Méx.	2.622	558.0	35.4	63.1	57.1	31.7	67.6	61.6
La Cruz, Dgo.	2.621	558.1	35.4	63.1	57.1	31.7	67.6	61.6
Doña Rosa, Méx.	2.612	558.6	35.4	63.2	57.2	31.8	67.7	61.7
Somorriell, Hgo.	2.600	559.4	35.4	63.3	57.3	31.8	67.9	61.9
Ocoyoacac, Méx.	2.600	559.4	35.4	63.3	57.3	31.8	67.9	61.9
Contadero, Tlax.	2.600	559.4	35.4	63.3	57.3	31.8	67.9	61.9
Cosona, Dgo.	2.594	559.8	35.4	63.4	57.4	31.8	67.9	61.9
Tecuán, Dgo.	2.594	559.8	35.4	63.4	57.4	31.8	67.9	61.9
Calpulalpan, Tlax.	2.583	560.6	35.4	63.6	57.6	31.8	68.0	62.0
Animas, Hgo.	2.576	561.0	35.4	63.6	57.6	31.9	68.1	62.1
Maclovo Herrera, Méx.	2.576	561.0	35.4	63.6	57.6	31.9	68.1	62.1
Lerma, Méx.	2.573	561.2	35.4	63.7	57.7	31.9	68.2	62.2
La Venada, Dgo.	2.562	562.0	35.5	63.8	57.8	31.9	68.3	62.3
Citlaltépetl, Pue.	2.560	562.1	35.5	63.8	57.8	31.9	68.3	62.3
Venta del Aire, Méx.	2.557	562.3	35.5	63.9	57.9	31.9	68.3	62.3
Del Río, Méx.	2.551	562.7	35.5	64.0	58.0	31.9	68.4	62.4
El Fuente, Dgo.	2.549	562.8	35.5	64.0	58.0	31.9	68.4	62.4
Regocijo, Dgo.	2.549	562.8	35.5	64.0	58.0	31.9	68.4	62.4
Ixtlahuaca, Méx.	2.548	562.9	35.5	64.0	58.0	31.9	68.4	62.4
Tultenango, Méx.	2.548	562.9	35.5	64.0	58.0	31.9	68.4	62.4
Autla, Pue.	2.543	563.2	35.5	64.1	58.1	31.9	68.5	62.5
Cienega de los Cab., Dgo.	2.541	563.3	35.5	64.1	58.1	31.9	68.5	62.5
Aserraderos, Dgo.	2.538	563.5	35.5	64.1	58.1	32.0	68.5	62.5
Acocotla, Tlax.	2.536	563.7	35.5	64.2	58.2	32.0	68.6	62.6
Manto, Méx.	2.532	563.9	35.5	64.2	58.2	32.0	68.6	62.6
Iturbe, Tlax.	2.531	564.0	35.5	64.2	58.2	32.0	68.6	62.6
Tecajete, Hgo.	2.539	563.5	35.5	64.1	58.1	32.0	68.5	62.5
Eslava, D.F.	2.523	564.5	35.5	64.3	58.3	32.0	68.7	62.7
Calderón, Tlax.	2.523	564.5	35.5	64.3	58.3	32.0	68.7	62.7
Flor de María, Méx.	2.522	564.6	35.5	64.3	58.3	32.0	68.7	62.7
Cerrito, Tlax.	2.522	564.6	35.5	64.3	58.3	32.0	68.7	62.7
Campero, Méx.	2.519	564.8	35.5	64.4	58.4	32.0	68.7	62.7
Bernales, Tlax.	2.517	564.9	35.5	64.4	58.4	32.0	68.8	62.8
La Luz, Tlax.	2.516	565.0	35.5	64.4	58.4	32.0	68.8	62.8
Soltepec, Tlax.	2.510	565.4	35.5	64.5	58.5	32.0	68.8	62.8
Bajío Atascoso, Dgo.	2.509	565.5	35.5	64.5	58.5	32.0	68.8	62.8
Tepeya, Hgo.	2.508	565.5	35.5	64.5	58.5	32.0	68.9	62.9
La Trásquila, Tlax.	2.507	565.6	35.5	64.5	58.5	32.0	68.9	62.9
La Rosa, Pue.	2.505	565.7	35.5	64.6	58.6	32.0	68.9	62.9
Baquedano, Tlax.	2.500	566.1	35.5	64.6	58.6	32.1	68.9	62.9

Todas las presiones de los gases se muestran en mmHg. Los valores para exposición aguda se refieren a personas que ascienden desde el nivel del mar a sitios de mayor altitud, mientras que los valores para aclimatados representan a residentes de muchos años en diferentes altitudes.

Tabla V. Altitud y presiones estimadas de gases en las montañas y volcanes más altos en la República Mexicana.

Montaña o volcán	Estado	Altura (km)	Pbar	Exposición aguda			Aclimatados		
				PaCO ₂	P _A O ₂	PaO ₂	PaCO ₂	P _A O ₂	PaO ₂
Pico de Orizaba*	Veracruz	5.610	392.4	32.7	31.7	25.7	24.3	42.2	36.2
Popocatepetl*	Pue-Méx-Mor.	5.465	399.1	32.8	32.9	26.9	24.6	43.2	37.2
Iztaccíhuatl*	Méx-Pue.	5.230	410.4	33.0	35.0	29.0	25.2	44.8	38.8
Nevado de Toluca	México	4.680	437.8	33.5	40.2	34.2	26.6	48.8	42.8
Matlacuéytl	Tlax-Pueb.	4.461	449.3	33.7	42.3	36.3	27.1	50.5	44.5
Cofre del Perote	Veracruz	4.250	460.6	33.9	44.5	38.5	27.7	52.3	46.3
Nevado de Colima	Colima	4.240	461.1	33.9	44.6	38.6	27.7	52.3	46.3
Tláloc	México	4.128	467.3	34.0	45.7	39.7	28.0	53.3	47.3
Tacaná	Chiapas	4.060	471.0	34.1	46.4	40.4	28.2	53.9	47.9
Telapón	México	4.060	471.0	34.1	46.4	40.4	28.2	53.9	47.9
Xocotitlán	México	3.937	477.9	34.2	47.7	41.7	28.5	54.9	48.9
Ajusco	D.F.	3.937	477.9	34.2	47.7	41.7	28.5	54.9	48.9
Tancítaro	Michoacán	3.846	483.5	34.3	48.8	42.8	28.7	55.8	48.8
Volcán de Fuego	Jal-Col.	3.838	483.5	34.3	48.8	42.8	28.7	55.8	49.8
Catedral	México	3.770	487.4	34.4	49.5	43.5	28.9	56.4	50.4
San Rafael	Coah.	3.710	490.8	34.4	50.2	44.2	29.0	56.9	50.9
El Moro	Nuevo León	3.710	490.8	34.4	50.2	44.2	29.0	56.9	50.9
El Potosí	Nuevo León	3.710	490.8	34.4	50.2	44.2	29.0	56.9	50.9
Tláloc	D.F.	3.700	491.4	34.4	50.3	44.3	29.1	57.0	51.0
San Andrés	México	3.600	497.3	34.5	51.4	45.4	29.3	57.9	51.9
Picacho San Onofre	Tamaulipas	3.554	500.0	34.6	51.9	45.9	29.4	58.4	52.4
La Nieve	Michoacán	3.450	506.1	34.6	53.1	47.1	29.7	59.3	53.3
Yucuyacua	Oaxaca	3.444	506.5	34.7	53.2	47.2	29.7	59.4	53.4
El Jabalí	Coahuila	3.409	508.6	34.7	53.6	47.6	29.8	59.7	53.7
El Zamorano	Querétaro	3.370	510.9	34.7	54.0	48.0	29.9	60.1	54.1
Peña Nado	Hidalgo	3.320	513.9	34.8	54.6	48.6	30.0	60.6	54.6
Epazote	Durango	3.227	519.6	34.8	55.7	49.7	30.2	61.5	55.5
La Ascensión	Tamaulipas	3.210	520.6	34.9	55.9	49.9	30.3	61.6	55.6
Grande	S.L.P.	3.190	521.9	34.9	56.1	50.1	30.3	61.8	55.8
Las Pingüicas	Guerrero	3.170	523.1	34.9	56.4	50.4	30.4	62.0	56.0
El Oso	Durango	3.170	523.1	34.9	56.4	50.4	30.4	62.0	56.0
Pánfilo	Durango	3.168	523.2	34.9	56.4	50.4	30.4	62.0	56.0
Las Nopaleras	Coahuila	3.130	525.6	34.9	56.8	50.8	30.5	62.4	56.4
Alto la Trinitas	Chihuahua	3.110	526.8	35.0	57.1	51.1	30.5	62.6	56.6
La Encantada	B.C.	3.100	527.4	35.0	57.2	51.2	30.6	62.7	56.7
Las Chorreras	Durango	3.070	529.3	35.0	57.5	51.5	30.6	63.0	57.0

Todas las presiones de los gases se muestran en mmHg. Los valores para exposición aguda se refieren a personas que ascienden desde el nivel del mar a sitios de mayor altitud, mientras que los valores para aclimatados representan a residentes de muchos años en diferentes altitudes.

* Los valores estimados para las alturas de los volcanes arriba de 5,000 m deben de tomarse con mayor cautela, ya que los valores de PaCO₂ se salen de la parte lineal con relación en la altura. Consecuentemente, pueden diferir más de los reales. Adicionalmente, los valores de P_A-aO₂ son menores a estas altitudes.

valores reales pueden diferir más a mayor edad. Es importante mencionar que la relación de la PaCO₂ con la altura deja de ser lineal después de los 5,000 m de altura. Asimismo, la P_A-aO₂ es menor; consecuentemente, los valores calculados para los volcanes que superan esta altitud (Tabla V) deben de tomarse con mayor cautela.

Todos los laboratorios que realizan gasometrías deben obtener sus propios valores normales, y los valores estima-

dos deben usarse sólo mientras esto se realiza, especialmente en las principales ciudades. No obstante, la diversidad geográfica de México y la dispersión de la población en sitios a diferentes alturas dificulta esta labor.

CONCLUSIÓN

Los valores estimados de gases arteriales pueden ser de utilidad en sitios a diferentes alturas en México. Sin embar-

Tabla VI. Altitudes y presiones estimadas de gases de los sitios más altos en el Distrito Federal.

Sitio	Altura (km)	Pbar	Exposición aguda			Aclimatados		
			PaCO ₂	P _A O ₂	PaO ₂	PaCO ₂	P _A O ₂	PaO ₂
Jocotitlán	3.900	480.0	34.2	48.1	42.1	28.6	55.2	49.2
Oyamel	3.730	489.7	34.4	50.0	44.0	29.0	56.7	50.7
La Estancia	3.220	520.0	34.9	55.8	49.8	30.3	61.5	55.5
Veguashi	3.080	528.7	35.0	57.4	51.4	30.6	62.9	56.9
Los Pitos	3.000	533.7	35.1	58.4	52.4	30.8	63.7	57.7
Chichicautla	2.700	552.9	35.3	62.1	56.1	31.6	66.8	60.8
Tres Quelites	2.500	566.1	35.5	64.6	58.6	32.1	68.9	62.9
Dorteje	2.500	566.1	35.5	64.6	58.6	32.1	68.9	62.9
Tolcayuca	2.500	566.1	35.5	64.6	58.6	32.1	68.9	62.9
Arandas	2.300	579.6	35.7	67.2	61.2	32.6	71.2	65.2
Peñuela	2.300	579.6	35.7	67.2	61.2	32.6	71.2	65.2
Ayatla	2.300	579.6	35.7	67.2	61.2	32.6	71.2	65.2

Todas las presiones de los gases se muestran en mmHg. Los valores para exposición aguda se refieren a personas que ascienden desde el nivel del mar a sitios de mayor altitud, mientras que los valores para aclimatados representan a residentes de muchos años en diferentes altitudes.

Tabla VII. Altitudes y presiones estimadas de gases de otras montañas en el Distrito Federal.

Sitio	Altura (km)	Pbar	Exposición aguda			Aclimatados		
			PaCO ₂	P _A O ₂	PaO ₂	PaCO ₂	P _A O ₂	PaO ₂
Pelado	3.620	496.1	34.5	51.2	45.2	29.3	57.7	51.7
Picacho	3.000	533.7	35.1	58.4	52.4	30.8	63.7	57.7
Del Sombrero	3.000	533.7	35.1	58.4	52.4	30.8	63.7	57.7
Chiquihuite	2.737	550.5	35.3	61.6	55.6	31.5	66.4	60.4
Tecuatzí	2.640	556.8	35.4	62.8	56.8	31.7	67.4	61.4
Zacatenco	2.500	566.1	35.5	64.6	58.6	32.1	68.9	62.9
La Caldera	2.450	569.4	35.6	65.3	59.3	32.2	69.5	63.5
De la Estrella	2.450	569.4	35.6	65.3	59.3	32.2	69.5	63.5

Todas las presiones de los gases se muestran en mmHg. Los valores para exposición aguda se refieren a personas que ascienden desde el nivel del mar a sitios de mayor altitud, mientras que los valores para aclimatados representan a residentes de muchos años en diferentes altitudes.

go, pueden diferir de los medidos debido a condiciones geográficas, atmosféricas y biológicas.

REFERENCIAS

1. Lizardi GD, Pérez PJR. *Las altitudes sobre el nivel del mar en México: Principales poblaciones carreteras, vías férreas, montañas y viajes aéreos. Guía para los neumólogos y sus pacientes.* Neumol Cir Tórax 1993; 52:7-14.
2. Pérez MSO, Pérez PJR. *Valores gasométricos en sujetos sanos reportados en la población mexicana: Revisión y análisis.* Rev Inv Clin 1992; 44:453-462.
3. Pérez-Padilla JR, Vázquez GJC. *Estimación de valores gasométricos a diferentes alturas sobre el nivel del mar.* Rev Inv Cli 2000; 52:148-155.
4. Fitzgerald MP. *The changes in the breathing and the blood at various high altitudes.* Phil Trans Roy Soc London Ser B 1913; 203:351-371.
5. Kellogg RH. *Altitude acclimatization: A historical introduction emphasizing the regulation of breathing.* Physiologist 1968; 11:37-57.
6. Ward MP, Miledge JS, West JB. *The atmosphere. In: High altitude medicine and physiology.* Philadelphia, EEUU: Chapman and Hall, 1989: 27-43.