



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE MEDICINA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIA MÉDICAS Y NUTRICIÓN
SALVADOR ZUBIRÁN

**MAL DE MONTAÑA AGUDO EN MÉXICO:
CARACTERÍSTICAS CLÍNICAS Y FACTORES DE RIESGO**

TESIS
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LA ESPECIALIDAD DE MEDICINA INTERNA

PRESENTA
DR. RODRIGO VILLE BENAVIDES

TUTORES DE TESIS
DR. ALFONSO GULIAS HERRERO
DR. JOSÉ JAVIER ELIZALDE GONZÁLEZ

México, Ciudad de México
2017





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

MAL DE MONTAÑA AGUDO EN MÉXICO: CARACTERÍSTICAS CLÍNICAS Y FACTORES DE RIESGO



INCMNSZ
INSTITUTO NACIONAL
DE CIENCIAS MÉDICAS Y NUTRICIÓN
"DR. SALVADOR ZUBIRÁN"
DIRECCIÓN DE ENSEÑANZA
México, D.F.

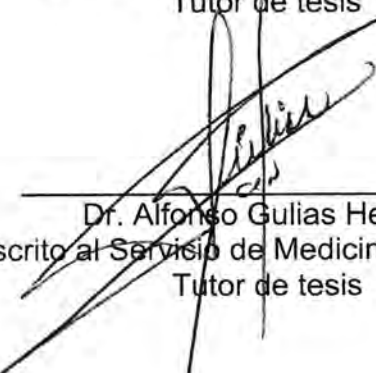


Dr. Sergio Ponce de León Rosales
Director de Enseñanza del INCMNSZ

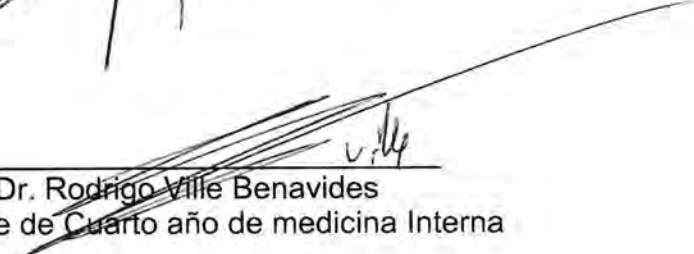


Dr. Alfonso Gulias Herrero
Profesor Adscrito al Servicio de Medicina Interna del INCMNSZ
Profesor titular del curso de Medicina Interna

Dr. José Javier Elizalde
Jefe del departamento de neumología del INCMNSZ
Tutor de tesis



Dr. Alfonso Gulias Herrero
Profesor Adscrito al Servicio de Medicina Interna del INCMNSZ
Tutor de tesis



Dr. Rodrigo Vile Benavides
Residente de Cuarto año de medicina Interna

ÍNDICE

1.- Resumen	1
2.- Marco teórico	5
2.1 Introducción	5
2.2 Desarrollo	6
3.- Justificación	10
4.- Hipótesis	10
5.- Objetivos	10
6.- Materiales y métodos	10
6.1 Maniobras	10
6.2 Cuestionarios	11
6.3 Técnica de Muestreo	12
6.4 Cálculo de la muestra	12
6.4 Criterios de inclusión y exclusión	12
6.5 Análisis estadístico	13
7.- Resultados	13
8.- Discusión	17
9.- Conclusiones	20
10.- Referencias bibliográficas	20
11.- Anexos	22
12.- Memorabilia	24
13.- Agradecimientos	26

1. Resumen

Título: Mal de montaña agudo en México: características clínicas y factores de riesgo.

Antecedentes: el turismo de montaña ha mostrado un incremento reciente en México lo que predispone a las personas que viajan a altitudes mayores a 2500 msnm a padecer mal de montaña agudo (MMA). Hasta la fecha no existen estudios publicados sobre la incidencia de mal de montaña agudo en México. El objetivo de este estudio fue describir, por primera vez, la incidencia, características clínicas y factores de riesgo del mal de montaña agudo en México.

Métodos: se realizó un estudio transversal en el periodo de octubre 2016 a junio 2017 en montañas mexicanas con cumbre mayor a 4000 msnm. Se evaluó la presencia de mal de montaña agudo utilizando el Lake Louise Scoring System), características clínicas acompañantes, factores de riesgo, y respuesta conductual a la enfermedad en 326 participantes expuestos de forma aguda a una altitud mayor a 3500 msnm por más de 3 horas en 6 montañas mexicanas.

Resultados: la incidencia de mal de montaña agudo fue de 42%. De acuerdo a un análisis univariado, hubo una relación directa entre la altitud máxima alcanzada y la intensidad de los síntomas del MMA. Además, se encontró que el sexo femenino, un altitud de residencia menor a 2000 msnm y el peso de la mochila mayor a 10 kg incrementan el riesgo del desarrollo de MMA.

Conclusiones: el mal de montaña agudo en México es común. Debe ser prioritario el diseño de una estrategia de prevención y atención oportuna de las enfermedades de altura en México debido a la creciente población en riesgo y el desconocimiento y las implicaciones médicas de esta enfermedad.

2. Marco teórico

2.1 Introducción

En México, más de 8 millones de personas viven y trabajan a una altitud igual o mayor a 2500 msnm.¹ Cerca del 65% de la superficie terrestre del país se encuentra a más de 1000 msnm y 45.2% del territorio mexicano está catalogado como montañoso debido a que tiene una pendiente superior al 27%.² Como se observa en la Tabla 1, el país cuenta con 11 montañas mayores a 4000 msnm.^{2,3} De estas, 10 forman parte de la faja volcánica transmexicana que se extiende desde el estado de Veracruz hasta el estado de Colima a lo largo del paralelo 19° de latitud norte (la única excepción es el volcán Tacaná en Chiapas).³ Tres de estas montañas, el Citlaltépetl (Pico de Orizaba), el Popocatepetl y la Iztaccíhuatl superan los 5000 msnm y figuran entre las 10 cumbres más altas de Norteamérica (3^{er}, 5^{to} y 8^{vo} lugar respectivamente).³

Tabla 1. Las 11 montañas más altas de México.

Lugar	Nombre prehispánico (Nombre moderno)	Altitud INEGI ⁺	Entidades federativas que abarca
1	Citlaltépetl (Pico de Orizaba)*	5610	Puebla y Veracruz
2	Popocatepetl	5500	Puebla, Estado de México y Morelos
3	Iztaccíhuatl*	5220	Puebla y Estado de México
4	Xinantécatl o Chicnauhtécatl (Nevado de Toluca)*	4680	Estado de México
5	Alitzin o Tliltépetl / Sierra negra*	4580	Puebla
6	Matlalcueye / La Malinche*	4460	Puebla y Tlaxcala
7	Zapotépetl (Nevado de Colima)	4260	Jalisco
8	Nauhcampatépetl (Cofre de Perote)	4200	Veracruz
9	Monte Tláloc*	4120	Estado de México, Puebla y Tlaxcala
10	Volcan Tacaná	4080	Chiapas y Guatemala
11	Cerro Telapón	4060	Estado de México y Puebla

Adaptado de: Neyra Jáuregui Jorge A. (2012), Guía de las altas montañas de México y una de Guatemala, México DF, México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).³ *Montañas que participaron en el estudio. ⁺Expresada en metros sobre el nivel del mar. ⁺Instituto Nacional de Estadística y Geografía.⁴⁷

El turismo de aventura los viajes a sitios a gran altitud son cada vez más populares en todo el mundo, incluyendo nuestro país.^{4,6} De hecho, los datos proporcionados por la dirección del parque nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl⁷ mostraron que en el periodo de junio de 2016 a junio de 2017, el parque registró a 45,534 visitantes, con la mayor afluencia de visitantes en la temporada invernal (de octubre a abril) y con una visitación máxima en el mes de abril 2017 en el que se registraron 5052 visitas.⁷ Estos datos incluyen a niños, adultos y personas mayores de 65 años, tanto mexicanos como extranjeros, pero sólo incluyen a visitantes que se registraron en el punto de acceso al parque conocido como Paso de Cortés a 3600 msnm⁷, lo que podría hablar de un subregistro y una gran cantidad de personas en riesgo de desarrollar enfermedades de altitud.

No existe un consenso sobre la definición exacta de “gran” altitud,⁸ pero se ha observado que las personas que viajan a destinos por arriba de 2500 msnm están expuestos a condiciones ambientales desfavorables como el frío, la disminución de la humedad ambiental y la exposición a rayos ultra violeta (UV), así como la presión barométrica disminuida y el desarrollo de enfermedades de altitud que incluyen el mal de montaña agudo (MMA), el edema cerebral de la altitud (ECA) y el edema pulmonar de la altitud (EPA), entre otros. Existen múltiples definiciones, pero la altitud se puede clasificar en intermedia, alta, muy alta y extrema de acuerdo a su posible asociación con las enfermedades de la altitud como se observa en la Tabla 2.^{6,8-10}

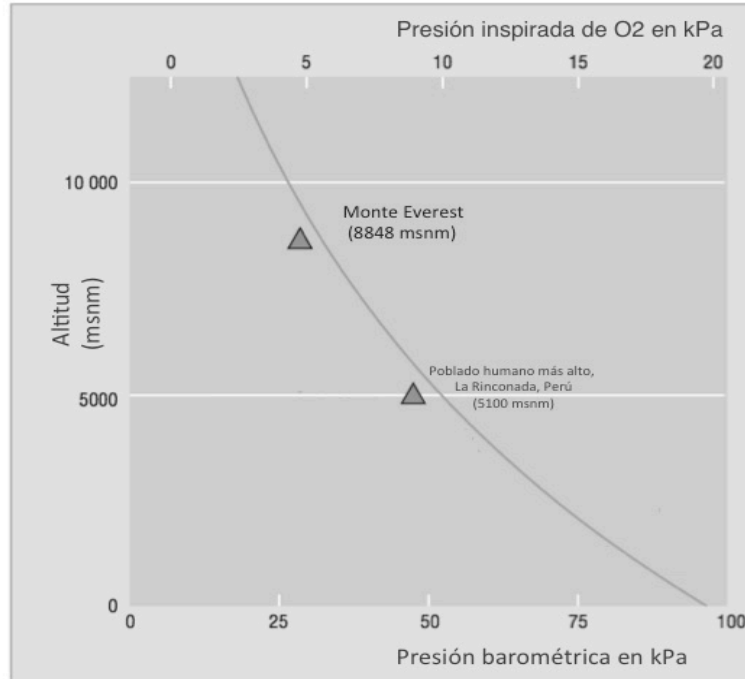
Tabla 2. Clasificación de la altitud de acuerdo a su asociación con enfermedades de la altitud.*

Altitud	Metros sobre el nivel del mar	Característica	Daños a la salud
Intermedia	1500-2500	Comienzan los efectos inducidos por la altitud	Riesgo de descompensación en personas con comorbilidades
Alta	2500-3500	Mayor reporte de enfermedades de altitud en el mundo	Riesgo de MMA en individuos no aclimatados expuestos de forma aguda
Muy alta	3500-5500	Mayor altitud de las montañas de México	Hipoxemia durante el ejercicio y formas graves de enfermedades de altitud
Extrema	>5500	No existen asentamientos humanos permanentes más altos ⁽¹¹⁾	Deterioro progresivo que sobrepasa la capacidad de aclimatación

*Adaptado de Kelly Mieske, Gerard Flaherty, Timothy O'Brien, (2010), Journeys to High Altitude: Risks and Recommendations for Travelers with Preexisting Medical Conditions, Journal of Travel Medicine; 17(1): 48-62.⁶ y Ro. C. Coach, Justin S. LAuley, P. H Hackett. (2016), 'High-Altitude Physiology' en Paul S. Auerbach, Tracy A. Cushing y N. Stuart Harris (7a), Auerbach's Wilderness Medicine, Estados Unidos: Elsevier.²⁴

2.1 Desarrollo

La concentración de oxígeno es constante (cerca de 21%) hasta altitudes de entre 9,000 y 10,000 msnm en donde termina la tropósfera e inicia la estratósfera.^{11,12} Sin embargo, la presión barométrica, que es el resultado de la suma de las presiones parciales de los gases atmosféricos (oxígeno y nitrógeno principalmente) y la presión parcial del vapor de agua, muestra un descenso casi lineal con el incremento en la altitud¹¹ como se observa en la Gráfica 1.



Gráfica 1. Relación entre la altitud, la presión barométrica y la presión inspirada de oxígeno. Adaptado de: Andrew J. Peacock, (1998), Oxygen at high altitude, British Medical Journal;317:1063-66.¹¹

Matemáticamente, la relación que existe entre la presión barométrica y la disponibilidad de oxígeno alveolar se puede representar utilizando la fórmula del gradiente alvéolo-arterial de oxígeno.¹³ Dicha fórmula representa el gradiente de difusión de oxígeno de los alveolos a la sangre arterial, es decir, la diferencia neta de las presiones de oxígeno existentes tras el paso de dicha molécula a través de la membrana alveolo capilar. Su valor normal es de 60-100 mmHg.¹³

La fórmula del gradiente alvéolo-arterial P(A-a) es:

$$\text{Gradiente alveolo-arterial de oxígeno } P(A-a)O_2 = P_AO_2 - P_aO_2$$

En donde :

- P_AO_2 es la presión alveolar de oxígeno.
- P_aO_2 es la presión arterial de oxígeno.

Para conocer la presión alveolar de oxígeno (P_AO_2) se utiliza la ecuación del gas alveolar¹⁴ cuyos principales determinantes son la presión arterial de dióxido de carbono (P_aCO_2) y la presión inspirada de oxígeno (P_iO_2) como se observa en la siguiente fórmula:

$$\text{Presión alveolar de oxígeno } (P_AO_2) = P_iO_2 - (P_aCO_2/RR)$$

En donde:

- P_iO_2 es la presión inspirada de oxígeno.
- P_aCO_2 es la presión arterial de CO_2 .
- RR es el cociente respiratorio con un valor constante de 0.83.

El siguiente determinante de la $P_{A}O_2$ que resta calcular es la presión inspirada de oxígeno (P_iO_2) que se calcula utilizando la siguiente fórmula:

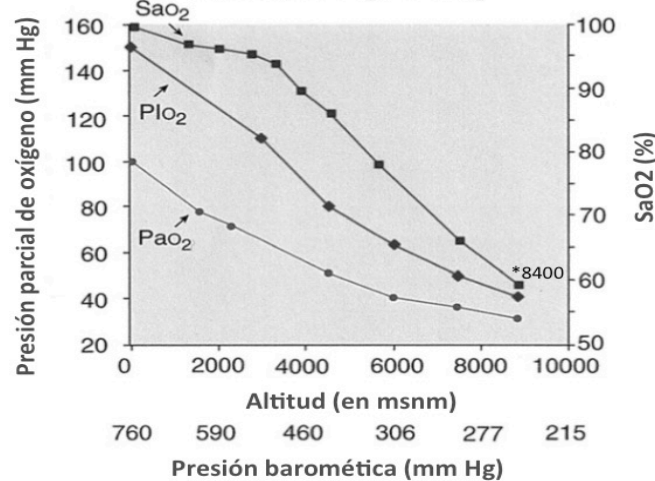
$$\text{Presión inspirada de oxígeno (P}_i\text{O}_2) = (PB - P_{H_2O}) \times F_iO_2$$

En donde:

- PB es la presión barométrica expresada en mmHg.
- P_{H_2O} es la presión del vapor de agua en la vía aérea, con un valor constante de 47 mmHg.
- F_iO_2 es la fracción inspirada de oxígeno que tiene un valor constante de 21% a cualquier altitud hasta los 10,000 msnm.¹¹

Como se observa en la Gráfica 2, la relación que existe entre la presión inspirada de oxígeno (P_iO_2) es directamente proporcional a la presión barométrica e inversamente proporcional a la altitud.^{1,10,11} Dicho de otra forma, conforme aumenta la altitud, la presión barométrica disminuye. Este descenso en la presión barométrica lleva a una disminución de la presión inspirada de oxígeno y con ello una disminución en la presión de oxígeno en toda la cascada de transporte de oxígeno desde el aire inspirado hasta el espacio alveolar, la sangre y los tejidos, resultando en cambios fisiológicos importantes.^{1,8-11,13}

Relación entre la altitud, la presión barométrica, la presión inspirada de oxígeno, la $P_{a}O_2$ y la SaO_2



Gráfica 2. *Indica la información de las muestras tomadas a mayor altitud disponibles en la literatura.^{1,14} Adaptado de: Erik R. Swenson, Peter Bärsch, (2014), High Altitude: Human adaptation to hypoxia, New York, NY: Springer.¹

Así, podemos observar que a nivel del mar, la presión barométrica es de 760 mmHg, mientras que en la Ciudad de México (2240 msnm) la presión barométrica es de 586.4 mmHg¹⁵ y en el campamento base del Monte Everest (5500 msnm) la presión barométrica es 380 mmHg, es decir, la mitad de la del nivel del mar.^{9,14}

Si sustituimos los valores de PB para conocer los valores de P_iO_2 a estas diferentes altitudes tenemos que:

- Al nivel del mar la $P_iO_2 = (760 - 47) \times 0.21 = 149.7$ mmHg.
- En la Ciudad de México la $P_iO_2 = (586.4 - 47) \times 0.21 = 113.2$ mmHg.
- En el campamento base del Everest la $P_iO_2 = (380 - 47) \times 0.21 = 69.93$ mmHg.

Si utilizamos los valores de P_iO_2 a nivel del mar para la ecuación del gas alveolar en una persona con una P_aCO_2 hipotética de 40 mmHg podemos observar que la $P_{A}O_2$ a nivel del mar para esa persona será de $= 149.7 - (40/0.83) = 101.6$ mmHg, mientras que en el campamento base del Everest la $P_{A}O_2$ para la misma persona sería de $= 69.93 - (40/0.83) = 21.9$ mmHg, muy por debajo del nivel normal de 60-100 mmHg.¹⁶ De esta forma podemos explicar matemáticamente cómo la hipoxemia empeora conforme incrementa la altitud debido al descenso de en la presión barométrica, y no al descenso en la F_iO_2 como popularmente se cree.

Respuesta fisiológica a la altitud

Las primeras descripciones del rol crítico que juega la hipoxia de la altitud se adjudican al médico francés Denis Jourdanet (1815-1892), quien pasó muchos años en México estudiando los efectos fisiológicos de la altitud.¹⁷

Jourdanet observó que sus pacientes de la altitud compartían características clínicas con sus pacientes anémicos a nivel del mar, tales como taquicardia, mareo y fatiga, y que la salud de ciertos pacientes mejoraba cuando se exponían a la altitud de las montañas mexicanas, en donde realizó múltiples determinaciones de la presión barométrica.¹⁷ En su libro *Influence de la pression de l'air sur la vie de l'homme*, Jourdanet hace la primer distinción entre hipoxia hipobárica y la hipoxia normobárica, así como las primeras descripciones de la fisiopatología de la exposición a la altitud.^{17,18}

Grandes avances se han hecho recientemente en el entendimiento de la fisiopatología de la exposición a las condiciones de hipoxia hipobárica.¹⁹ La hipoxia hipobárica pone en marcha numerosas repuestas fisiológicas inmediatas cuyo objetivo es la aclimatación o adaptación a la altitud para asegurar el aporte de oxígeno a los tejidos a pesar de la reducción en la P_iO_2 .²⁰

Recientemente se ha prestado atención la vía del factor inducido por hipoxia (HIF),¹⁶ un heterodímero con dos subunidades α que está presente en todas las células de los mamíferos y que modula la expresión de más de 1000 genes involucrados en la respuesta de adaptación a la hipoxia. Se ha encontrado que HIF modula genes implicados en la regularización del metabolismo, el crecimiento vascular, la división celular y la inflamación.²¹

Los principales cambios fisiológicos que ocurren en el ser humano cuando se expone a la altitud de forma aguda involucran a la mecánica pulmonar y la función cardiovascular, renal, hematológica e incluso neuropsiquiátrica, afectando distintos parámetros fisiológicos como la oxigenación arterial, el estado ácido-base, la tolerancia al ejercicio, la conducta y el desarrollo de enfermedades de la altitud. Estos cambios dependen de la hipoxia y también de la hipobaría *per se*.^(1, 22,23) Dichos cambios se ilustran en la Tabla 3.

Tabla 3. Adaptación fisiológica a la exposición aguda a la altitud.*

Sistema	Estímulo	Respuesta	Ocasiona
Respiratorio	<ul style="list-style-type: none"> Hipoxemia e hipoxia 	<ul style="list-style-type: none"> Incremento en la ventilación. Vasoconstricción pulmonar. 	<ul style="list-style-type: none"> Alcalosis respiratoria. Incremento en la resistencia vascular pulmonar y la presión de la arteria pulmonar.
Renal	<ul style="list-style-type: none"> Alcalosis respiratoria 1. 2. Hipoxemia 	<ul style="list-style-type: none"> Incremento en la secreción de bicarbonato. Incremento variable de la diuresis y natriuresis. Secreción de eritropoyetina en las primeras 24-48 horas. 	<ul style="list-style-type: none"> Acidemia. Disminución inicial del volumen plasmático. Incremento inicial del hematocrito y concentración de hemoglobina.
Cardiovascular	<ul style="list-style-type: none"> Hipoxemia Disminución del volumen plasmático. 	<ul style="list-style-type: none"> Taquicardia. Disminución del volumen latido. 	<ul style="list-style-type: none"> Incremento del gasto cardiaco. Incremento variable de la tensión arterial sistémica. Contractilidad miocárdica preservada.
Hematológico	<ul style="list-style-type: none"> Incremento en la secreción de eritropoyetina 	<ul style="list-style-type: none"> Incremento de hemoglobina, hematocrito y eritrocitos en días a semanas. 	<ul style="list-style-type: none"> Mejora tolerancia a la hipoxia hipobárica.

*Adaptado de: Nicholas J. Johnson, Andrew M. Luks, (2016), High-Altitude Medicine, Med Clin N Am; 100(1): 357–369.⁸

Definición de mal de montaña agudo

La hipoxia hipobárica puede tener efectos deletéreos en la salud, lo que resulta en el desarrollo de las llamadas enfermedades de la altitud: un espectro heterogéneo de condiciones que incluyen el mal de montaña agudo, el edema pulmonar de la altitud (EPA) y el edema cerebral de la altitud (ECA).¹⁷

El mal de montaña agudo (MMA) es un síndrome que ocurre al exponerse de forma aguda, usualmente en menos de 48 horas, a una altitud mayor a 2500 msnm y que se caracteriza por la presencia de cefalea que puede llegar a ser intensa e incapacitante más otros síntomas que incluyen náusea, vómito, mareo, fatiga y trastornos para dormir. ^(1,6,8,9,23)

Típicamente se presenta en las primeras 6 a 12 horas de la llegada a una altitud mayor a 2500 msnm y tiene una duración de menos de 72 horas.^{8,23} El ECA es considerado ahora una forma grave y potencialmente fatal del mal de montaña agudo y que puede llegar a afectar 0.5-1% de las personas con mal de montaña agudo, en particular si continúan su ascenso por encima de 4000-5000 msnm y no atienden sus síntomas.^{8,9,23} El edema cerebral de la altitud se caracteriza por disfunción neurológica global con ataxia, alteración del estado de alerta y de las funciones corticales superiores.^{1,8,9,23}

Epidemiología y factores de riesgo

El mal de montaña agudo no es una enfermedad exclusiva de la altitud extrema ya que se ha reportado su presencia en altitudes tan bajas como 2000 msnm en individuos no aclimatados.¹ Más bien, se considera que es una enfermedad de quienes ascienden alto demasiado rápido y que se presenta típicamente a partir de los 2500 msnm.^{8,9,18,23}

El mal de montaña agudo es relativamente común.^{19,23} Existe una relación directa entre la altitud y la incidencia de mal de montaña agudo.^{8,19} De hecho, se ha reportado que por arriba de 4500 msnm la incidencia puede ser de hasta 40-50% y que esta aumenta entre 1.4% y 25% con cada incremento de 400 m de altitud por arriba de 3000 msnm.^{9,23} Múltiples estudios de incidencia y prevalencia se han realizado en diferentes partes del mundo encontrando resultados distintos.^{1,23,25-29} Por ejemplo, en un estudio de 2385 turistas que caminaron a la ciudad de Lahsa en China (3658 msnm) la incidencia de MMA fue de 36%.²⁵ Por otro lado, en 2007 en el Kilimanjaro, *Karinen et al.* encontraron una incidencia de hasta 75% de MMA en montañistas que llegaron a la cumbre (5895 msnm), es decir, en un ascenso muy rápido.^{9,26}

Otros factores de riesgo conocidos son la velocidad de ascenso y la altitud a la que se duerme, así como el antecedente de mal de montaña agudo o enfermedades de la altitud previas como se observa en la tabla 4.^{8,9}

Tabla 4. Evaluación del riesgo de mal de montaña agudo^a

Riesgo	Ascenso planeado e historia clínica
Bajo	<ul style="list-style-type: none"> • Sin historia previa de MMA o edema de la altitud. • Ascenso lento (menos de 500 m al día en altitudes menores a 2500 msnm). • Exposición a una altitud de hasta 3000 msnm en las semanas previas. • Ascenso a menos de 2800 msnm. • Incrementos subsecuentes en la altitud a la que se duerme de menos de 500 m/día. • Permitir un día extra de aclimatación con cada incremento de 1000 m en la altitud a la que se duerme.
Moderado	<ul style="list-style-type: none"> • Historia desconocida de enfermedades de la altitud. • Historia previa de enfermedades de la altitud en ascensos rápidos (más de 500 m al día en altitudes mayores a 2500 msnm). • Todos los individuos que ascienden más de 500 m por día en altitudes mayores a 3000 msnm pero que permiten un día de descanso para aclimatación. • Ascenso a más de 3000 msnm en un solo día.
Alto	<ul style="list-style-type: none"> • Ascensos muy rápidos, usualmente en vehículos (más de 500 m por día en altitudes mayores a 3000 msnm) sin permitir la aclimatación. • Historia previa de enfermedades de la altitud en altitudes mayores a 2800 msnm o con la altitud a la que se planea ascender. • Ascenso a más de 3500 msnm en 1 día. • Altitud final mayor a 4000 msnm.

^aTodos los ascensos se refieren a ascensos desde la altitud a la que el individuo durmió. Modificado de ^{8,9,24}.

Diagnóstico

El diagnóstico de mal de montaña agudo se realiza utilizando el Lake Louise Scoring System³⁰ ante la presencia de al menos 3 puntos con cefalea más uno de los siguientes síntomas: náusea, vómito, mareo, fatiga y trastornos del sueño, en las primeras 12 horas de la exposición a una altitud igual o mayor a 2500 msnm.^{8,9,23,30}

Tratamiento

Una vez realizado el diagnóstico se debe considerar descender o descansar a la misma altitud y se debe evitar ascender mientras haya síntomas activos.³¹ En casos leves se recomienda la ingesta de líquidos, abrigarse, descansar durante un día y administrar medicamentos para el control de los síntomas, tales como anti inflamatorios no esteroides (AINES) o antieméticos y el uso de acetazolamida (125-250 mg/BID) para acelerar la aclimatación.^{8,9} Si los síntomas son persistentes o aumentan en su intensidad se debe descender entre 500 y 1000 m y descansar.³¹ En casos refractarios, graves o incapacitantes se deberá valorar utilizar oxígeno suplementario o utilizar una cámara hiperbárica portátil hasta que el descenso sea factible.^{1,8,9,23,31}

Prevención

La mejor forma de prevenir el mal de montaña aguda es con un ascenso lento, es decir, un incremento de menos de 500 m en la altitud a la que se duerme en altitudes mayores a 3000 msnm e incluir días de aclimatación en los que se debe dormir a la misma altitud varias noches cada 3 o 4 días.^{8,31-33}

Las maniobras preventivas incluyen una tasa de ascenso lenta que permita la aclimatización del individuo, de no más de 300 m al día, descender pronto, mantener una hidratación adecuada, mantenerse abrigado y evitar el sobreesfuerzo en la altitud.³¹

Además, se ha estudiado el uso de acetazolamida a una dosis de 125-250 mg cada 12 horas desde 24-48 horas previo al ascenso y hasta el descenso o dos días después de alcanzar la altitud máxima planeada si permanecerá a dicha altitud.³⁴

3. Justificación

El mal de montaña agudo es una enfermedad común en individuos no aclimatados que ascienden por encima de 2500 msnm y que puede ser incapacitante y predispone a quien la padece a sufrir edema pulmonar de la altitud y edema cerebral de la altitud, así como lesiones por trauma o inducidas por frío.^{8,9,23,31} Un número cada vez mayor de personas ascienden las montañas mexicanas por distintas razones,^{4,35} pero la incidencia de esta enfermedad y sus desenlaces clínicos en las montañas mexicanas son desconocidos hasta la fecha.

4. Hipótesis

Con base en estudios realizados en diferentes partes del mundo,^{1,23,25-29} estimamos que la incidencia del mal de montaña agudo en México es del 35% en personas que ascienden por encima de los 3500 msnm, lo que representaría al menos 15,000 individuos afectados al año tan sólo en el Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl.

5. Objetivos

5.1 Objetivo primario

Estimar la incidencia del mal de montaña agudo en montañas mexicanas con altitud mayor a 4000 msnm.

5.2 Objetivos secundarios

Describir las características clínicas más comunes del mal de montaña agudo y de la exposición a la altitud en montañas mexicanas.

Identificar factores de riesgo para el desarrollo de mal de montaña agudo en montañas mexicanas.

6. Materiales y métodos

Se realizó un estudio transversal en 6 de las 10 montañas más altas de México:³ La Iztaccíhuatl, El Citlaltépetl (Pico de Orizaba), El Xinantécatl (Nevado de Toluca), El Tiltépetl/Alinztzin (Sierra Negra), La Matlalcueye (La Malinche) y El Monte Tláloc durante los fines de semana del periodo comprendido entre octubre del 2016 y junio del 2017. En la figura 1 se ilustra el área de estudio.³⁶

Se obtuvo la autorización del Comité de Ética y el Comité de Investigación del Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán (INCMNSZ) para realizar el estudio sin consentimiento informado escrito.

6.1 Maniobras

A su descenso de la montaña, se invitó a participar aleatoriamente a adultos que estuvieron expuestos de forma aguda (en menos de 48 horas) a una altitud mayor a 3500 msnm por más de 3 horas en montañas mexicanas con altitud mayor a 4000 msnm.

A cada participante se le aplicó la escala de Lake Louise Scoring System en su versión en español³⁷ y se registraron variables antropométricas, se interrogaron factores de riesgo y características clínicas del mal de montaña agudo. El llenado de los cuestionarios fue supervisado y asistido por médicos con conocimiento en la aplicación de las herramientas del estudio.

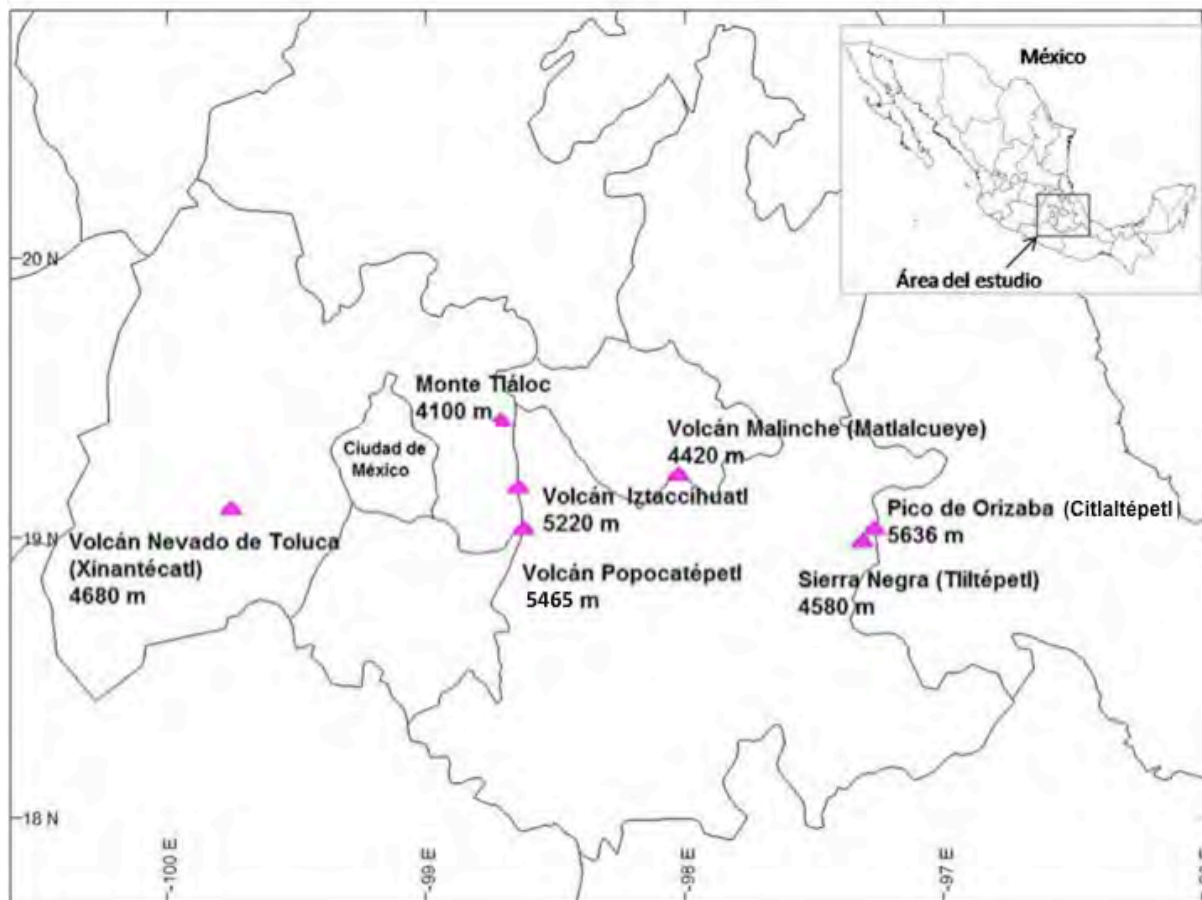


Figura 1. Área de estudio. El mapa es cortesía de Chris Lloyd del grupo Jalisco Vertical A.C.³⁶

6.2 Cuestionarios

El cuestionario Lake Louise Scoring System (LLSS) es una herramienta validada para el diagnóstico de mal de montaña agudo.³⁰ Existe una versión aprobada en español.³⁷ Este score incluye la evaluación de diferentes síntomas según su intensidad, en una escala del 0 al 3, siendo 3 la más intensa y 0 su ausencia, para un máximo total de 15 puntos y mínimo de 0. Evalúa la presencia e intensidad de cefalea, síntomas gastrointestinales, trastornos del sueño, mareo y fatiga.³⁰ La presencia de cefalea más la presencia de otro síntoma y al menos 3 puntos totales es diagnóstica de MMA en una persona expuesta de forma aguda a una altitud mayor a 2500 msnm.³⁰ Aquellos con seis o más puntos se consideran como casos graves y con mayor riesgo de desarrollar complicaciones como edema cerebral de la altitud y de sufrir lesiones.^{6,9}

El cuestionario de factores de riesgo que se utilizó es una versión modificada del cuestionario del sistema de vigilancia de factores de riesgo del comportamiento (BRFSS) versión 2014, en español, utilizado por el Centers for Disease Control and prevention o CDC.³⁸

El cuestionario para describir las características clínicas del MMA se basó en el cuadro clínico descrito en la literatura de revisión sobre el tema^(1,8,9) y en cuestionarios que se aplicaron en diversos estudios similares a este que se han realizado en otras partes del mundo, tales como China (Lahsa)²⁴, Tanzania (Kilimanjaro)²⁵, Suiza (en Los Alpes)²⁶, Argentina (Aconcagua)³⁹, Irán (Monte Damavand)²⁷ y Japón (Monte Fuji)²⁹ entre otros.^{1,24}

Dichos cuestionarios se probaron en un estudio piloto en octubre 2016 y se modificaron posteriormente de acuerdo a observaciones del investigador y a opiniones de los participantes que lo contestaron. Se simplificó la forma de interrogar y se disminuyó el tiempo de llenado de entre 15 y 20 minutos a entre 5 y 10 minutos.

Se registró edad, sexo, lugar y altitud de residencia habitual, peso de la mochila, altitud máxima alcanzada, noches de campamento en el parque, altitud del campamento, síntomas de mal de montaña y su intensidad, tipo de visitante, síntomas acompañantes, presencia de enfermedades previas, ingesta de medicamentos durante la excursión y previo a ella, consumo de alcohol, tabaquismo, uso de drogas, ingesta de agua durante su excursión, visita reciente al nivel del mar, práctica de buceo reciente, antecedentes personales de enfermedades de altitud, historia reciente de exposición a la altitud o de mal de montaña agudo y antecedentes heredofamiliares de enfermedades de la altitud. Además, se indagó el conocimiento previo de cada

participante sobre el mal de montaña agudo, sus factores de riesgo y su tratamiento y si habían tomado cursos de primeros auxilios en ambientes agrestes o medicina de montaña previamente. Por último, se registró si los participantes hacían ejercicio regularmente, si habían visitado a un médico previo a su excursión con motivo del viaje a la altitud y las maniobras que tuvieron que llevar a cabo una vez que presentaron síntomas en la altitud para sentirse mejor.

6.3 Técnica de muestreo

Se dio aviso del protocolo al público en general mediante redes sociales durante el periodo de estudio en foros dedicados al montañista y al turismo de aventura en México, a los cuerpos de policía de alta montaña y de rescate de montaña en los diferentes parques.

Debido a las condiciones de acceso difícil y la gran cantidad de rutas que existen hacia la cumbre de las diferentes montañas estudiadas³, se decidió realizar un muestreo aleatorizado simple con las siguientes observaciones:

- En el caso de la Iztaccíhuatl se instaló una tienda de campaña considerada como punto base para el muestreo en el paraje llamado “la joyita” a aproximadamente 3970 msnm.³ La joyita es el lugar donde inician la mayoría de los ascensos a la cumbre del Iztaccíhuatl por la cara sur, que es la ruta más popular, y cuenta con baños, estacionamiento, zona de campamento, puestos de comida y un puesto de socorro alpino. Desde ahí los investigadores se acercaron a los participantes a su descenso a dicho paraje.
- En el caso del Xinantécatl (Nevado de Toluca), existe un paraje conocido como “la segunda pluma de acceso” a aproximadamente 4150 msnm.³ En este lugar hay baños, estacionamiento, puestos de comida y un refugio alpino. Desde ahí parte una vereda que los visitantes deben transitar tanto a su ascenso como a su descenso para acceder tanto a la cumbre como al cráter de la montaña.^{3,35} El equipo de investigadores se instaló en este paraje para aplicar las encuestas.
- Para el caso del Tliltépetl o Alíntzin (Sierra Negra) en cuya cumbre (4580 msnm) se encuentran las instalaciones del Gran Telescopio Milimétrico (GTM) del Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE), se obtuvo autorización por escrito de dicha institución para visitar las instalaciones del GTM en una ocasión. Ahí se invitó a participar a todos los trabajadores y visitantes que se encontraban a más de 3500 msnm. Además se impartió una plática gratuita sobre mal de montaña agudo y lesiones inducidas por frío al personal del INAOE.
- Para el caso de otras montañas como La Malintzin (La malinche), el Monte Tláloc y el Citlaltépetl (Pico de Orizaba) se realizaron las encuestas en los estacionamientos, veredas, e inmediaciones a los refugios de alta montaña a los visitantes encontrados.

6.3 Cálculo de la muestra, criterios de éxito y criterios de falla

Se utilizó la siguiente fórmula para calcular el tamaño de la muestra (n)⁴⁰ asumiendo que la mayor incidencia disponible en la literatura para una montaña a una altitud similar a la de sitio principal de estudio en el Iztaccíhuatl (3776 msnm en el Monte Fuji) es de 29.5%²⁶ y considerando d 5% (la diferencia máxima tolerada en la incidencia de MMA):

$$n = \frac{(z^2)P(1 - P)}{d^2}$$

Donde:

n = tamaño de la muestra.

Z = nivel de confianza (95%).

P = proporción o incidencia esperada en proporción de uno.

d = precisión en proporción de uno.

Se calculó un tamaño de muestra $n=317$.

6. 4 Criterios de inclusión

Se incluyó a adultos con edad igual o mayor a 18 años, de cualquier sexo, que hablaban español como lengua materna, que acudieron a alguna montaña mexicana con cumbre mayor a 4000 msnm, que fueron expuestos a una altitud mayor o igual a 3500 msnm en menos de 48 horas por al menos 3 horas y que dieron su consentimiento verbal previo a su participación.

6.5 Criterios de exclusión

Se excluyó del análisis a todos aquellos individuos cuya información se consideró incorrecta, ilegible o incompleta, así como a aquellos cuya lengua materna no era el español, aquellos que rechazaron su participación o aquellos que no cumplieron los criterios de inclusión.

6.6 Análisis estadístico

Para el análisis de la información se utilizó el programa de análisis estadístico IBM SPSS versión 21 (IBM, Chicago, IL, EU). Se usó estadística descriptiva y se registraron frecuencias, proporciones medias y desviaciones estándar según el caso. Para la comparación de las medias se utilizó la prueba T de student para investigar diferencias entre grupos (con MMA vs. Sin MMA). Se realizó un análisis univariado de las variables categóricas mediante la prueba de Chi cuadrada para estimar el riesgo relativo (RR) para mal de montaña. Se consideró a una $p < 0.05$ como significativamente estadística.

7. Resultados

Características demográficas de la población

Se obtuvo la participación de 416 individuos. Se excluyó a 90 de ellos debido a que no se obtuvo información completa o ésta era ilegible o incorrecta. Así, 326 individuos se incluyeron en el análisis, de los cuales 206 (63.2%) fueron hombres y 120 (36.8%) mujeres, con edades de entre 18 y 69 años (media de 35.1). Sólo hubo una mujer embarazada. De la muestra, 197 personas visitaron la Iztaccíhuatl, 90 el Xinantécatl (Nevado de Toluca) y 39 otras montañas. En total, 295 (90.5%) personas vivían a más de 2000 msnm. Además, 164 (50.3%) eran turistas, 74 (22.7%) eran clientes de alguna empresa de ecoturismo o habían pagado por ser guiados en la montaña, 45 (13.8%) eran montañistas, 10 (3.1%) guías de montaña y 34 (10.4%) trabajadores de la altitud que incluían ingenieros, técnicos de mantenimiento, policías, guardaparques, socorristas, conductores y personal administrativo.

En general, 106 (32.5%) personas reportaron una enfermedad previa y 210 (82.8%) tenían factores de riesgo cardiovascular.

3 participantes reportaron una discapacidad (ceguera). 76 (23.3%) personas reportaron uso de alcohol 72 horas previas a su visita al parque, 62 (19%) participantes reportaron ser fumadores activos y 55 (9.8%) reportaron el uso regular de drogas, de los cuales 52 consumían marihuana. La tabla 5 muestra las características de los participantes con y sin mal de montaña agudo.

Incidencia y características clínicas del mal de montaña y síntomas asociados a la exposición a la altitud

En total, 256 (78.5%) personas presentaron síntomas con la exposición a la altitud. 137 participantes (42%) sufrieron mal de montaña agudo y 25 de ellos (18.2%) tuvieron 6 puntos en el LLSS por lo que se consideraron con mal de montaña agudo grave. 192 (58.9%) de los participantes presentaron síntomas diferentes a los del mal de montaña agudo.

De los síntomas de mal de montaña agudo, la fatiga fue el más común, presentándose en 63.5% de la muestra, seguido por cefalea en 49.4% de todos los participantes y mareo en 32.5% de los casos totales. Los trastornos del sueño sólo se consideraron en quienes acamparon en la montaña (N=84) y se presentaron en 66.6% de ellos, o en 17.25 de la muestra total.

De los síntomas diferentes a los del MMA, 52.8% de los participantes reportaron síntomas cardiovasculares (palpitaciones, arritmia, cianosis periférica, síncope, lipotimia, parestesias, entumecimiento, calambres, edema periférico o dolor torácico), 29.8% síntomas respiratorios (tos, disnea, hemoptisis, congestión nasal u ótica, rinorrea o dolor ótico), 25.5% síntomas neurológicos (somnia, alucinaciones, temblor distal, vértigo, desorientación, ataxia y convulsiones), 9.5% de la muestra (dolor abdominal, distensión abdominal, diarrea o estreñimiento) síntomas gastrointestinales y 4.9% síntomas psiquiátricos (ansiedad, miedo, pánico, tristeza). Por último, 31.3% de los participantes reportaron lesiones por exposición o trauma (golpes, caídas, esguinces, heridas, sangrado no menstrual, quemaduras solares, frío intenso, congelamiento de un dedo y sed intensa). De los síntomas no asociados a MMA, los síntomas cardiovasculares y las lesiones por exposición fueron más comunes en las personas con MMA.

Los síntomas más comúnmente reportados fueron palpitaciones en 42.3% de personas con MMA vs 38.1% en personas sin MMA, disnea en 19% de personas con MMA vs 18% sin MMA, sed intensa en 15.3% de personas con MMA vs 11.6% sin MMA y frío intenso en 14.6% de personas con MMA vs. 11.1% de personas sin MMA.

En la tabla 6 se observan las diferencias de presentación de grupos de síntomas entre personas MMA vs. sin MMA.

Tabla 5. Características de la población con y sin mal de montaña agudo.

Características de los participantes N=326 (%)	Personas con mal de montaña agudo N = 137 (42)	Personas sin mal de montaña agudo N = 189 (58)	Valor de p
Hombres / mujeres N= 206 / 120 (63.2 / 36.8)	73/64 (53.3 / 46.7)	133/56 (70.4 / 29.6)	<0.01
Edad media (DE^s) R⁺: 18-69	34.05 (10.26)	35.8 (11.6)	0.2
BMI* medio (DE) R: 15.6-33.4	24.79 (3.53)	24.62 (3.18)	0.66
Lugar de residencia:			0.06
Ciudad de México N= 210 (64.4)	84 (61.3)	126 (66.6)	
Estado de México N=28 (8.6)	10 (7.3)	18 (9.5)	
Puebla N=39 (11.9)	16 (11.7)	23 (12.2)	
Otro N=49 (15.1)	27 (19.7)	22 (11.7)	
Altitud[#] media de residencia (DE) Rango: 0-4000	2116 (400)	2200 (361)	0.05
Montaña visitada:			0.02
Iztaccíhuatl N=197 (60.4)	88 (64.3)	109 (57.6)	
Xinantécatl (Nevado de Toluca) N=90 (27.6)	28 (20.4)	62 (32.8)	
Alintzin/Tliltépetl (Sierra negra) N=20 (6.1)	11 (8.1)	9 (4.8)	
Otras montañas N=19 (5.9)	10 (7.2)	9 (4.8)	
Tipo de visitante:			0.06
Turistas N=163 (50)	62 (45.3)	101 (53.4)	
Clientes N=74 (22.7)	38 (27.7)	36 (19.2)	
Montañistas N=45 (13.8)	16 (11.6)	29 (15.3)	
Guías de montaña N=10 (3.1)	2 (1.5)	8 (4.2)	
Trabajadores N=34 (10.4)	19 (13.9)	15 (7.9)	
Altitud máxima alcanzada (DE): rango: 3500-5610	4937 (425)	4791.33 (480)	0.01
3500-4000 N=8 (2.5)	1 (0.7)	7 (3.7)	
4000-4500 N=162 (49.7)	56 (40.9)	106 (56.1)	
4500-5000 N=96 (29.4)	44 (32.1)	52 (27.5)	
> 5000 N= 60 (18.4)	36 (26.3)	24 (12.7)	
Éxito de cumbre N= 77 (23.6)	44 (32.1)	33 (17.5)	<0.01
Personas que acamparon N=84 (25.8)	54 (39.4)	30 (15.9)	<0.01
Altitud media de campamento (DE) R: 3200-5100	4116 (432)	4134(400)	<0.01
Altitud del campamento:			0.77
3000-4000 N=52 (15.9)	32 (23.3)	20 (10.5)	
4000-4500 N= 8 (2.4)	7 (5.1)	1 (0.5)	
>4500 N= 24 (7.3)	15 (10.9)	9 (4.7)	
Enfermedades previas N= 106 (32.5)	35 (25.5)	71 (37.6)	0.02
Enfermedades cardiovasculares ^o N= 30 (9.2)	10 (7.3)	20 (10.6)	0.31
Enfermedades respiratorias ^a N=52 (16)	21 (15.3)	31 (16.4)	0.79
Enfermedades neuropsiquiátricas ^{&} N= 34 (10.4)	9 (6.6)	25 (13.2)	0.05
Factores de riesgo cardiovascular ^c N=270 (82.8)	118 (86.1)	152 (80.4)	0.17
Ingesta reciente de alcohol N=76 (23.3)	31 (22.6)	45 (23.8)	0.8
Tabaquismo activo N=62 (19)	26 (19)	36 (19)	0.98
Uso regular de drogas N=55 (9.8)	23 (16.8)	32 (16.9)	0.97
Ingesta media de líquidos 1.11 (DE) rango: 0-6	1.11 (1.03)	1.11 (1)	0.16

^sDesviación estándar. ⁺Rango. ^{*}Expresado en kg/m². [#]Altitudes expresadas en msnm. ^oIncluye cardiopatía isquémica, arritmias, hipertensión arterial sistémica, diabetes mellitus tipo 2 y enfermedad cerebrovascular isquémica. ^aToma en cuenta asma, enfermedad pulmonar obstructiva crónica, síndrome de apnea-hipopnea del sueño y ronquidos nocturnos. [&]Toma en cuenta epilepsia, migraña, trastorno de ansiedad generalizada, trastorno depresivo mayor y evento cerebrovascular. ^cToma en cuenta evento cerebrovascular de cualquier causa, hipertensión arterial sistémica, diabetes mellitus, obesidad, dislipidemia, enfermedad renal crónica y cardiopatía isquémica.

Tabla 6. Conjuntos de síntomas en personas con y sin mal de montaña agudo.

Síntomas N (%)	En personas con mal de montaña N=137	En personas sin mal de montaña N=189	Valor de p
Síntomas del MMA N= 239 (73.3)	137 (100)	102 (54)	<0.01
Cefalea N= 161 (49.4)	137 (100)	24 (12.7)	<0.01
Náusea / vómito N = 55 (16.9)	50 (36.5)	5 (2.6)	<0.01
Mareo /aturdimiento N=106 (32.5)	89 (65)	17 (9)	<0.01
Fatiga /cansancio N=207 (63.5)	125 (91.2)	82 (43.4)	<0.01
Trastornos del sueño* N=56 (17.2)	49 (35.8)	7 (3.7)	<0.01
Síntomas diferentes a los de MMA= 192 (58.9)	86(62.8)	106(56.1)	0.22
Síntomas cardiovasculares N=172 (52.8)	81 (59.1)	91(48.1)	0.05
Síntomas respiratorios N=97 (29.8)	45 (32.8)	52 (27.5)	0.29
Síntomas neurológicos N=83 (25.5)	36(26.3)	47(24.9)	0.05
Síntomas gastrointestinales N= 31 (9.5)	14 (10.2)	17(9)	0.71
Síntomas psiquiátricos N=16 (4.9)	8 (5.8)	8 (4.2)	0.5
Lesiones por exposición o trauma N= 102 (31.3)	51(37.2)	51(27)	0.04

*Sólo se estudio en quenes acamparon en la montaña.

Respuesta a los síntomas

Entre las personas que tuvieron mal de montaña, el 48.2% creyeron haberlo tenido mientras que entre aquellos que no tuvieron MMA sólo el 7.4% creyó haberlo tenido ($p<0.01$). En 32.1% de los que sufrieron MMA sus síntomas impidieron continuar su excursión y tuvieron que descender vs. sólo 3.7% en aquellos sin MMA ($p<0.01$). Todos los participantes que solicitaron atención médica tuvieron mal de montaña, representando al 3.6% de este grupo vs 0% del grupo sin mal de montaña ($p<0.01$). La ingesta de medicamentos durante la excursión fue más común entre participantes sin MMA que entre aquellos con MMA con 14.8% vs. 10.9% respectivamente, pero no fue estadísticamente significativo ($p=0.48$). Estos hallazgos se observan en la tabla 7.

Tabla 7. Respuesta a los síntomas y conciencia de enfermedad en personas con y sin MMA

Acción que llevaron a cabo N(%)	Con mal de montaña N=137	Sin mal de montaña N=189	Valor de p
No hicieron nada N= 92 (28.3)	33 (24.3)	59 (31.2)	0.17
Descansar / ir más lento N=48 (14.7)	28 (20.4)	20 (10.6)	0.01
Tomar medicamentos N= 43 (13.2)	15 (10.9)	28 (14.8)	0.48
AINES+ N= 36 (11)	13 (9.4)	23 (12.1)	
Otros medicamentos* N= 9 (2.7)	4 (2.9)	5 (2.6)	
Descender N=51 (15.5)	44 (32.1)	7 (3.7)	<0.01
Solicitó atención médica N=5 (1.5)	5 (3.6)	0(0)	<0.01
Creyó que sufrió MMA N=80 (24.5)	66 (48.2)	14 (7.4)	<0.01

+Antiinflamatorios no esteroideos. *Incluye antihistamínicos, antidiarreicos, antiácidos, antibióticos y remedios naturistas u homeopatía.

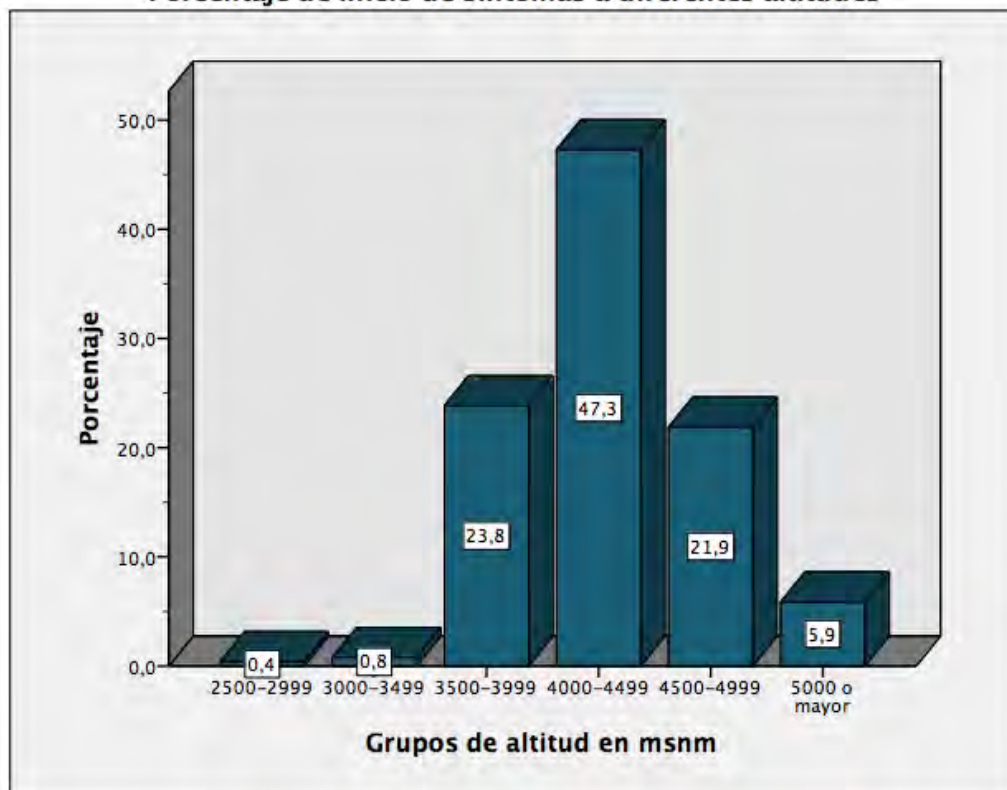
Efecto de la altitud en los síntomas y la presencia del mal de montaña

El 75% de los síntomas iniciaron a partir de los 4000 msnm (rango de 2700 a 5300 msnm) con una media de 4207 msnm como se observa en la gráfica 3.

Se observó una relación directa entre el incremento de la altitud y el riesgo de padecer mal de montaña. Por ejemplo, subir montañas mayores a 5000 msnm, alcanzar una altitud mayor a 4500 msnm, lograr llegar a la cumbre y acampar más alto que 4000 msnm son factores que incrementaron el riesgo de padecer mal de montaña en nuestro estudio como se describe en la tabla 8.

En la tabla 9 se observa la distribución del inicio de los síntomas de mal de montaña a diferentes altitudes, así como la altitud de aparición del mal de montaña agudo y el mal de montaña agudo grave. Se encontró que los síntomas a menos de 3500 msnm son raros. 66.9% de los casos de MMA se presentó entre 3500 y 4500 msnm pero el 60% de los casos de MMA grave se presentó entre los 4000 y los 5000 msnm.

Porcentaje de inicio de síntomas a diferentes altitudes



Gráfica 3. Altitud de inicio de los síntomas relacionados a la exposición da la altitud.

Tabla 8. Relación entre diferentes parámetros de altitud y el riesgo de desarrollar mal de montaña agudo.

Parámetros de altitud	Desarrollaron MMA N=137	No desarrollaron MMA N=189	Riesgo relativo ⁺ (IC 95%)	Valor de p
Escalaron una montaña mayor a 5000 N=204 (62.6)	94 (46.1)	110 (53.9)	1.3 (0.98-1.73)	0.05*
Escalaron una montaña menor a 5000 N= 122 (37.4)	43 (31.4)	79 (41.8)	0.76 (0.57-1.01)	0.06
Alcanzaron 4000 msnm N= 318 (97.5)	136 (42.8)	182 (57.2)	3.42 (0.54-21.4)	0.08
Alcanzaron 4500 msnm N= 156 (47.9)	80(51.3)	76 (48.7)	1.52 (1.17-1.98)	<0.01*
Alcanzaron 5000 msnm N=60 (18.4)	36 (60)	24 (40)	1.58 (1.22-2.04)	<0.01*
Lograr llegar a la cumbre N=77 (23.6)	44 (57.1)	33 (42.9)	1.53 (1.19-1.96)	<0.01*
Acamparon N=84 (25.8)	54 (64.3)	30 (35.7)	1.87 (1.48-2.37)	<0.01*
Acampar entre 3500-4000 msnm N=49 (58.3)	29 (59.2)	29 (40.8)	0.82 (0.6-1.13)	0.24
Acampar 4000-4999 msnm N=31 (9.5)	21 (67.7)	10 (32.3)	1.72 (1.3-2.28)	<0.01*
Acampar a > 4500 msnm N=24 (7.4)	15 (62.5)	9 (37.5)	1.54 (1.1-2.17)	<0.01*

⁺RR para la presencia de mal de montaña. *Se señalan los parámetros que tuvieron significancia estadística.

Otros factores de riesgo

Ni la edad, la presencia de obesidad (IMC < 30 kg/m²), los conocimientos previos sobre el mal de montaña agudo, la práctica regular de ejercicio, las toxicomanías, los antecedentes heredofamiliares y personales de enfermedades de la altitud, la exposición reciente a la altitud, el buceo o la visita reciente al nivel del mar influyeron en el riesgo de desarrollo del mal de montaña. Sin embargo, el sexo femenino, una altitud de residencia menor a 2000 msnm y el peso de la mochila mayor a 10 kg fueron factores asociados con un incremento del riesgo del desarrollo de mal de montaña agudo en nuestro estudio. De interés, haber consultado a un médico con el motivo específico del viaje a la altitud previo a la excursión resultó en una disminución del riesgo como se muestra en la tabla 10.

Tabla 9. Altitud de inicio de los síntomas del MAM y altitud de inicio del MAM grave a 6 diferentes altitudes.

Síntoma N (%) / Altitud*	2500-2999	3000-3499	3500-3999	4000-4499	4500-4999	> 5000	Valor de p
Cefalea N=161	0 (0)	2 (1.2)	38 (23.6)	69 (42.9)	43 (26.7)	9 (5.6)	0.06
Leve 124 (77)	0 (0)	1 (0.8)	33 (26.6)	54 (43.5)	30 (24.2)	6 (4.8)	
Moderada 32 (19.8)	0 (0)	1 (0.8)	5 (15.6)	12 (37.5)	11 (34.4)	3 (9.4)	
Intensa 5 (3.2)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	3 (60)	2 (4)	0 (0)	
% Acumulado	0 (0)	1.2	26.8	69.7	96.4	100	
Fatiga o cansancio N=207	1(0.5)	2 (1)	46 (22.2)	98 (47)	46 (22.2)	14 (6.8)	0.09
Leve 100 (48.3)	0 (0)	0 (0)	21(21)	55 (55)	21 (21)	3 (3)	
Moderado 94 (45.4)	1(1.1)	1 (1.1)	23 (24.5)	39 (41.5)	21 (22.3)	9 (9.6)	
Intenso 13 (6.3)	0 (0)	1 (7.7)	2 (15.4)	4 (30.8)	4 (30.8)	2 (15.4)	
% Acumulado	0.5	1.5	23.7	70.7	92.2	100	
Náusea o vómito N=55	0 (0)	1 (1.8)	12 (21.9)	24 (43.7)	14 (25.5)	4 (7.3)	0.01
Leve 39 (70.9)	0 (0)	0 (0)	6 (15.4)	20 (51.3)	11 (28.2)	2 (5.1)	
Moderado 15 (27.3)	0 (0)	0 (0)	6 (40)	4 (26.7)	3 (20)	2 (13.3)	
Intenso 1 (1.8)	0 (0)	1 (100)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	
% Acumulado	0	1.8	23.5	67.1	92.5	100	
Mareo o aturdimiento N=106	0 (0)	1 (0.9)	19 (17.9)	53 (50)	28 (26.5)	5 (4.7)	0.31
Leve 85 (80.3)	0 (0)	0 (0)	14 (16.5)	45 (52.9)	21 (24.7)	5 (5.9)	
Moderado 20 (18.8)	0 (0)	1 (5)	4 (20)	8 (40)	7 (35)	0 (0)	
Intenso (0.9)	0 (0)	0 (0)	1 (100)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	
% Acumulado	0	0.9	18.8	68.8	95.5	100	
Trastornos del sueño N=56	0 (0)	1 (1.8)	12 (21.4)	16 (28.6)	20 (35.7)	7 (12.5)	0.02
Leve 25 (44.6)	0 (0)	0 (0)	4 (16)	9 (36)	8 (32)	4 (16)	
Moderado 20 (35.7)	0 (0)	1 (5)	5 (25)	4 (20)	7 (35)	3 (15)	
Grave 11 (19.6)	0 (0)	0 (0)	3 (27.3)	3 (27.3)	5 (45.5)	0 (0)	
% Acumulado	0	1.8	23.3	51.8	87.5	100	
Mal de montaña agudo N=137	0 (0)	2 (1.5)	29 (21.2)	58 (42.3)	39 (29.5)	9 (6.6)	0.06
% acumulado	0 (0)	1.45	22.6	64.7	93.4%	100	
MMA no grave N= 112 (81.7)	0 (0)	1 (0.9)	24 (21.4)	51 (45.5)	39 (26.8)	6 (5.4)	
% Acumulado	0	0.9	22.3	67.8	94.6	100	
MMA grave N=25 (18.3)	0 (0)	1(4)	5(20)	7 (28)	9(36)	3 (12)	
% Acumulado	0	4	24	52	88	100	

* Altitud expresada en msnm.

8. Discusión

Hasta donde tenemos conocimiento, este es el primer trabajo que estudia la incidencia, las características clínicas y los factores de riesgo del mal de montaña agudo en México.

En nuestro estudio, 42% de los participantes presentaron mal de montaña agudo definido como cefalea más un síntoma acompañante y al menos 3 puntos en el LLSS. De las personas con mal de montaña agudo, 18.3% presentaron una forma grave, y sólo 5 personas, es decir, el 3.6% requirieron atención médica. Esta incidencia es más baja que la que reportada en otros estudios. Por ejemplo, en un estudio realizado para comparar la prevalencia de MMA en los Alpes del este y los Alpes del oeste se encontró en general una prevalencia de 34.9% a una altitud máxima de 3817 msnm,⁴¹ que es mucho mayor comparada con nuestro estudio en el que, para la misma altitud, se encontró MMA en sólo 22% de los participantes entre 3500 y 4000 msnm. Por otro lado, en un estudio realizado en el Kilimanjaro, se encontró que el 50% de los participantes presentó MMA agudo a 4700 msnm²⁶ mientras que en nuestro estudio sólo 26.8% de los casos de MMA se presentaron entre 4500 y 5000 msnm. Por último, en un estudio realizado a una altitud similar a la del Citlaltépetl (Pico de Orizaba) y la Iztaccíhuatl en el Monte Damavand (5672 msnm), en Irán, se encontró una incidencia de 60.8%²⁸ la cual también es mucho mayor que la encontrada en nuestro estudio. Además, nuestro estudio no encontró relación entre la exposición reciente a la altitud mayor a 3000 msnm y una disminución del riesgo de MMA como lo han hecho otros estudios.^{42,43}

Tabla 10. Asociación entre características de la población y el riesgo de desarrollar mal de montaña agudo.

Factores de riesgo estudiados N (%)	Desarrollaron MMA N=137	No desarrollaron MMA N=189	RR para MMA (IC 95%)	Valor de p
Residencia menor a 2000 N=31 (9.5)	20 (64.5)	11 (35.5)	1.62 (1.2-2.18)	<0.01
Hombres 206 (63.2)	73 (35.4)	64 (33.9)	0.66 (0.51-0.85)	0.02
Mujeres 120 (36.8)	64 (53.3)	56 (46.7)	1.5 (1.17-1.93)	0.02
Obesidad 19 (5.8)	11 (57.9)	8 (42.1)	1.41 (0.94-2.1)	0.14
Peso de la mochila > 10 kg N=42 (12.9)	24 (57.1)	18 (42.9)	1.43 (1.06-1.93)	0.03
Preparación previa:				
Actividad aeróbica regular* N=165 (50.6)	74 (45.5)	90 (54.5)	1.18 (0.91-1.52)	0.2
Entrenamiento previo [§] específico N=67 (20.6)	32 (47.8)	35 (52.2)	1.17 (0.88-1.57)	0.28
Visita a un médico previamente [%] N=14 (4.3)	2 (14.3)	12 (85.7)	0.3 (0.9-1.19)	0.03
Tipo de visitante:				
Turista N= 163 (50)	62 (38)	62 (101)	0.82 (0.63-1.06)	0.14
Cliente N= 74 (22.7)	38 (51.4)	36 (48.6)	1.3 (0.99-1.71)	0.05
Montañista N= 45 (13.8)	16 (35.6)	29(64.4)	0.82 (0.54-1.25)	0.34
Guía de montaña N=10 (3.1)	2 (20)	8 (80)	0.46 (0.13-1.62)	0.15
Trabajador N= 34 (10.4)	19 (55.9)	15 (44.1)	1.38 (0.99- 1.92)	0.08
Enfermedades previas N= 106 (32.5)	35 (33)	71 (67)	0.71 (0.52-0.96)	0.02
Enfermedades cardiovasculares N= 30 (9.2)	10 (33.3)	20 (66.7)	0.77 (0.46-1.31)	0.31
Enfermedades respiratorias N=52 (16)	21 (40.4)	31 (59.6)	0.95 (0.66-1.36)	0.79
Enfermedades neuropsiquiátricas N= 34 (10.4)	9 (26.5)	25 (73.5)	0.6 (0.34-1.07)	0.06
Factores de riesgo cardiovascular N=270 (82.8)	118 (43.7)	152 (56.3)	1.28 (0.87-1.9)	0.17
Toxicomanías e ingesta de fármacos:				
Consumo regular de alcohol N=124 (38)	56 (45.2)	68 (54.8)	1.12 (0.87-1.45)	0.36
Consumo reciente de alcohol N=76 (23.3)	31 (40.8)	45 (59.2)	0.96 (0.7-1.3)	0.8
Tabaquismo activo N=62 (19)	26 (41.9)	36 (58.1)	0.99 (0.72-1.31)	0.98
Consumo regular de drogas N=55 (16.9)	23 (41.8)	32 (58.2)	0.99 (0.7-1.39)	0.97
Uso regular de medicamentos N= 85 (26.1)	34 (40)	51 (60)	0.93 (0.69-1.2)	0.66
Conocimiento previo del MMA:				
Habían escuchado del MMA N=181 (55.5)	82 (45.3)	99 (54.7)	1.19 (0.91-1.55)	0.18
Identificaban los síntomas N= 157 (48.2)	69 (43.9)	88 (56.1)	1.09 (0.84-1.4)	0.49
Conocían los factores de riesgo N=104 (31.9)	48 (46.2)	56 (53.8)	1.15 (0.88-1.49)	0.3
Conocían el tratamiento N=83 (25.5)	36 (43.4)	47(56.6)	1.04 (0.78-1.39)	0.77
Habían tomado cursos [¶] N=41 (12.6)	13 (31.7)	28 (68.3)	0.72 (0.45-1.16)	0.15
Antecedentes de MMA:				
Historia personal de MMA N=81 (24.8)	30 (37)	51 (63)	0.84 (0.61-1.16)	0.29
Antecedentes familiares de MMA N=94 (28.8)	45 (47.9)	49 (52.1)	1.2 (0.92-1.57)	0.17
Exposición reciente a la altitud⁺ N=106 (32.5)	41 (38.7)	65 (61.3)	0.88 (0.66-1.17)	0.39
Menos de 3 veces N=60 (18.4)	24 (40)	36 (60)	0.94 (0.67-1.32)	0.72
De 3-5 veces N=21 (6.4)	7 (33.3)	14 (66.7)	0.78 (0.42-1.45)	0.4
De 6-7 veces N=5 (1.5)	3 (60)	2 (40)	1.43 (0.69-2.97)	0.41
De 8-10 veces N= 2 (0.6)	1 (50)	1 (50)	1.19 (0.29-4.79)	0.81
Más de 10 veces N=18 (5.5)	6 (33.3)	12 (66.7)	0.78 (0.4-1.52)	0.44
Buceo reciente N= 3 (0.9)	2 (66.7)	1 (33.3)	1.59 (0.7-3.58)	0.38
Visita reciente a una altitud de 0 msnm^a N= 16 (4.9)	6 (37.5)	10 (62.5)	0.88 (0.46-1.69)	0.7

*Más de 150 minutos de ejercicio aeróbico moderado por semana. [§]Entrenamiento específico para hacer actividades en la montaña. [%]Si visitó a un médico previo a su excursión con el motivo específico de consejería para ir a la montaña. [¶] Cursos de medicina o primeros auxilios en ambientes agrestes, hostiles, de la altitud o de montaña. ⁺Exposición en los últimos 30 días. ^aEn los últimos 30 días. ^bEn los últimos 15 días.

Estos datos reflejan un comportamiento único del MMA en México, aunque comparar los estudios de MMA realizados en otras partes del mundo es difícil porque algunos estiman prevalencia, otros incidencia, y porque las poblaciones estudiadas, las altitudes de las montañas y las condiciones de ascenso varían de sitio en sitio, así como las definiciones de mal de montaña agudo utilizadas en los distintos estudios.^{25,28}

Diferentes razones podrían explicar estos hallazgos. La población de nuestro estudio estaba compuesta principalmente por turistas prácticamente sanos que vivían a más de 2000 msnm, sin experiencia previa en alta montaña y que, en general, visitaban las montañas para hacer actividades turísticas sin la intención de llegar a la cumbre. Aunque la mayoría realizan ascensos rápidos desde una altura promedio de 2200 msnm en la Ciudad de México hasta sitios como la joyita en la Iztaccíhuatl (3970 msnm) y el cráter del Xinantécatl (Nevado de Toluca) a 4200 msnm, el hecho de que la mayoría vive a más de 2000 msnm significa que están, cuando menos, parcialmente aclimatados^{1,43,44} Además, para la mayoría de la población estudiada ésta era la primera vez que se expusieron a una altitud mayor a 3000 msnm y en general no intentaron llegar a la cumbre, lo que implica menor sobre esfuerzo y un tiempo menor de exposición a la altitud. De hecho, encontramos personas que estuvieron expuestas por sólo 3 horas a la altitud en el Xinantécatl (Nevado de Toluca).

Varios estudios han tratado de encontrar relación entre múltiples variables de la población, como la raza, la dieta baja en sal, las enfermedades previas, el uso de medicamentos, los métodos de ascenso, la respuesta ventilatoria a la hipoxia y el tipo de visitante a la montaña, sin encontrar información estadísticamente significativa.^{1,25-29,43-45} Una ventaja de nuestro estudio es que incluyó a todos los tipos de visitantes a la montaña al mismo tiempo y encontró una tendencia al incremento del riesgo de MMA entre los clientes (personas que pagaron para ser guiados en su ascenso a la montaña). La explicación probable es que los clientes de las empresas de ecoturismo suelen participar en excursiones que llegan más alto y más rápido que los turistas convencionales, en expediciones usualmente orientadas a la cumbre, lo que condiciona un mayor sobre esfuerzo, mayor altitud alcanzada y un mayor tiempo de exposición a la altitud, lo que podría explicar el mayor número de casos de MMA en este grupo. Además, los trabajadores de las montañas mexicanas suelen pasar periodos prolongados en la altitud y se encuentran mejor aclimatados que los turistas.¹

Es interesante observar que el peso de la mochila > 10 kg como medida del esfuerzo realizado en la altitud se encontró como un factor que aumenta el riesgo de desarrollo de mal de montaña agudo RR=1.43 IC95% 1.06-1.93, p=0.03. Lo cual contrasta con diferentes estudios en los que se han encontrado resultados variables.^{28,31,32} Una posible explicación para el aumento de casos de MMA en este subgrupo es que las personas que llevaban mochilas más pesadas en nuestro estudio tuvieron mayor tendencia a acampar y llegaban por lo general más alto, participaban en excursiones destinadas a la cumbre y por lo tanto pasaban más tiempo en la altitud comparado con las personas que no llevan mochilas tan pesadas. Además la mochila pesada es una medida indirecta del sobre esfuerzo, que se sabe que aumenta el riesgo de MMA.²⁸

Llama mucho la atención que en nuestro estudio ningún participante de 326 utilizó medicamentos profilácticos lo que difiere francamente con estudios realizados previamente. Por ejemplo, en un estudio grande de MMA realizado en 2010 en la ciudad de Lhasa, en el Tibet (3658msnm), que incluyó a 2385 turistas, se encontró que el 40% de ellos utilizó algún medicamento como profilaxis previo y durante su ascenso.²⁵ Además, en este mismo estudio 77.5% de los turistas tuvieron conciencia de enfermedad, comparado con sólo 24% de nuestra población. Por último, en nuestra población sólo el 48.2% conocían los síntomas del MMA, 31.9% los factores de riesgo y 25.5% conocían el tratamiento adecuado. Es más, sólo el 12.6% había recibido un curso previo sobre medicina de montaña o de ambientes agrestes. Por si fuera poco, encontramos que visitar a un médico previo a la visita al parque con el motivo específico de acudir a la montaña se asoció con un riesgo reducido para desarrollar mal de montaña agudo RR 0.3 IC95% 0.9-1.19, p=0.03.

Estos datos son alarmantes. En primera porque pudimos observar que no todos los trabajadores de la altitud habían recibido un curso sobre medicina de altitud o de ambientes agrestes. Por otro lado, el uso de medicamentos profilácticos como la acetazolamida y el conocimiento de la enfermedad han demostrado reducir el riesgo de MMA⁴⁶ y creemos que podría disminuir el riesgo de sufrir lesiones resultantes del MMA. Aunado a esto, el hecho de que visitar a un médico previo a la visita a la montaña disminuya el riesgo de desarrollar MMA hace evidente la necesidad de crear un programa de educación sobre enfermedades de la altitud dirigido a la población en general y a los trabajadores de la altitud en México.

Finalmente, es interesante observar los datos proporcionados por la dirección del parque nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl en los que se registró una afluencia de más de 45,000 visitantes al año tan sólo en ese parque,⁶ lo que refleja que la población en riesgo es grande y que podríamos esperar al menos 18,900 casos de MMA agudo al año tan solo en esta montaña. Sin embargo, debemos reconocer que existe un subregistro de la población en riesgo, ya que no existen datos confiables sobre la cantidad de visitantes de otras montañas, salvo el caso del Tliltépetl/Alintzin (Sierra Negra) en donde llevan un registro estricto de los visitantes. La utilidad de este estudio es ofrecer una visión general y estimación de la carga de esta enfermedad por primera vez en México.

9. Conclusiones

La incidencia de mal de montaña agudo en México es alta. Las implicaciones médicas de esta enfermedad y la gran cantidad de personas que visitan las montañas mexicanas constituyen un problema de salud poco reconocido en nuestro país. Debido a que la población en riesgo es cada vez mayor, consideramos prioritario el diseño de una estrategia de atención oportuna y prevención del mal de montaña agudo en las montañas mexicanas y sugerimos que los visitantes a la altitud acudan con un médico previo a su visita. Además, creemos necesaria la creación de un programa de educación a la población general, visitantes de los parques nacionales en zonas montañosas y trabajadores de la altitud para disminuir el alcance de esta enfermedad y mejorar las medidas terapéuticas. La utilidad de este estudio consiste en conocer, de forma general, la carga de esta enfermedad en la población mexicana, pero más estudios de enfermedades de la altitud son necesarios para precisar si existen características específicas que distinguen a esta población del resto del mundo.

10. Referencias bibliográficas

1. Erik R. Swenson, Peter Bärtsch. High Altitude: Human adaptation to hypoxia, 2014, New York, NY: Springer.
2. UNAM. Atlas nacional de México. Instituto de Geografía, 1990, México.
3. Neyra Jáuregui Jorge A. Guía de las altas montañas de México y una de Guatemala, México DF, 2012, México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).
4. Neeraj M Shah et al. Wilderness medicine at high altitude: recent developments in the field. *Open Access Journal of Sports Medicine* 2015;6:319–328.
5. Estrategia Nacional para un Desarrollo Sustentable del Turismo y la Recreación en las Áreas Naturales Protegidas de México. 2013. http://conanp.gob.mx/pdf_publicaciones/TurismoEstrategia.pdf.
6. Kelly Mieske, Gerard Flaherty, Timothy O'Brien. Journeys to High Altitude: Risks and Recommendations for Travelers with Preexisting Medical Conditions. *J Trav Med* 2010; 17:48-62.
7. Bernabé G. (2017) Re: respuesta solicitud número de visitantes, e-mail a Ville-Benavides R. (dr.rodrigoville@gmail.com), 12 jul [12 jul 2017].
8. Nicholas J. Johnson, Andrew M. Luks. High-Altitude Medicine. *Med Clin N Am* 2010; 100:357–369.
9. Peter Bärtsch, Erik R. Swenson. Acute High-Altitude Illnesses. *N Engl J Med* 2013; 368:2294-302.
10. P. Bärtsch, B.Saltin. General introduction to altitude adaptation and mountain sickness. *Scand J Med Sci Sports* 2008; 18:1–10 .
11. Andrew J. Peacock. Oxygen at high altitude. *BMJ* 1998; 317:1063-1666.
12. John B. West. Highest Permanent Human Habitation. *High Alt Med Biol* 2002;3:401-407.
13. Román-Vistraín Gustavo, Muñoz-Ramírez C. Mireya et al. Valoración respiratoria durante la guardia, *El residente* 2015; 10:63-68.
14. Michael P. Grocott, Daniel S. Martin, Denny Z.H. Levett et al. Arterial Blood Gases and Oxygen content in Climbers on Mount Everest 2009, *N Engl J Med*; 360:140-149.
15. Pérez-Padilla José Rogelio, Vázquez-García Juan Carlos. Estimación de los valores gasométricos en diferentes alturas sobre el nivel del mar en México, *Rev Invest Clin* 2000; 52:148-155.
16. John B. West. Physiological Effects of Chronic Hypoxia, *N Engl J Med* 2017; 376:1965-71.
17. John B. West, Jean-Paul Richalet. Denis Jourdanet (1815–1892) and the early recognition of the role of hypoxia at high altitude, *Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol* 2013;305:L333–L340.
18. Auvinet G, Briulet B. El doctor Denis Jourdanet; su vida y su obra. *Gac Méd Méx* 2004;140:426–429.
19. Robert C. Roach, Peter H. Hackett. Frontiers of hypoxia research: acute mountain sickness, *J Exp Biol* 2001;204:3161-3170.
20. P. Bärtsch, J. Simon R. Gibbs, (2007), Effect of altitude on the Heart and the Lungs, *Circulation*; 116:2191-2202.
21. M. Celeste Simon. The Hypoxia Pathways – Hats off. *N Eng J Med* 2016; 375:1687-1689.
22. J.A Loeppky, M. Icenogle, P. Scotto et al. Ventilation during simulated altitude, normobaric hypoxia and normoxic hypobaric, *Respir Physiol* 1997;107:231-239.
23. P. H. Hackett, A. M. Luks, J. S. Lawley, R. C. Roach. (2016), 'High-Altitude Medicine and Pathophysiology' en Paul S. Auerbach, Tracy A. Cushing y N. Stuart Harris (7a), *Auerbach's Wilderness Medicine*, Estados Unidos: Elsevier.
24. Ro. C. Coach, Justin S. LAuley, P. H Hackett. (2016), 'High-Altitude Physiology' en Paul S. Auerbach, Tracy A. Cushing y N. Stuart Harris (7a), *Auerbach's Wilderness Medicine*, Estados Unidos: Elsevier.
25. Gonggalanzi et al. Acute mountain sickness among tourists visiting the high-altitude city of Lhasa at 3658 m above sea level: a cross-sectional study, *Archives of Public Health* 2016; 74:23.
26. Jackson SJ, Varley J, Sellers C, et al. (Incidence and predictors of acute mountain sickness among trekkers on Mount Kilimanjaro. *High Alt Med Biol* 2010; 11:217–222.

27. Maggiorini M, Buhler B, Walter M, Oelz O. Prevalence of acute mountain sickness in the Swiss Alps. *BMJ* 1990;301:853–5.
28. Ziaee V, Yunesian M, et al. Acute mountain sickness in Iranian trekkers around Mount Damavand (5671 m) in Iran. *Wilderness Environ Med* 2003; 14:214–219.
29. Masahiro Horiuchi PhD, Junko Endo BSc et al. Prevalence of acute mountain sickness on Mount Fuji: A pilot study. *J Trav Med* 2016;2:1-5.
30. Roach RC, Bartsch P, Hackett PH, Oelz O. The Lake Louise acute mountain sickness scoring system. In: Sutton JR, Houston CS, Coates G, editors. *Hypoxia and Molecular Medicine*. Burlington, VT: Queens City Printers; 1993:265–271.
31. Luks AM, McIntosh SE, Grissom CK, et al. Wilderness Medical Society practice guidelines for the prevention and treatment of acute altitude illness: 2014 update. *Wilderness Environ Med* 2104; 25(4 Suppl): S4–14.
32. Luks AM. Physiology in medicine: a physiologic approach to prevention and treatment of acute high altitude illnesses. *J Appl Physiol* 2015;118:509–19.
33. Bloch KE, Turk AJ, Maggiorini M, et al. Effect of ascent protocol on acute mountain sickness and success at Muztagh Ata, 7546 m. *High Alt Med Biol* 2009; 10: 25–32.
34. Neil D. Ritchie, Amy V. Bagott, W.T. Andrew Todd. Acetazolamide for the Prevention of Acute Mountain Sickness: A Systematic Review and Meta-analysis, *J Trav Med* 2012; 19:1195-1982.
35. Maribel Osorio, Sergio Franco M, et al. El visitante del Parque Nacional Nevado de Toluca, México. Análisis del comportamiento en un área natural protegida, *Investigaciones Geográficas* 2011, Boletín;76.
36. Lloyd C. (2017) Re: rocko map, e-mail a Ville-Benavides R. (dr.rodrioville@gmail.com), 5 jul [5 jul 2017].
37. F. J. Carod-Artal, et al. Propiedades métricas de la versión española del Cuestionario de Mal de Altura del Lago Louise, *Neurología* 2011; 26:337-342.
38. Cuestionario del BRFSS 2014/Final/1 de noviembre de 2013, https://www.cdc.gov/brfss/questionnaires/pdf-ques/2014brfss_spanish.pdf.
39. Pesce C, Leal C, Pinto H, et al. Determinants of acute mountain sickness and success on Mount Aconcagua (6962m) *High Alt Med Biol* 2005;6:158–66.
40. Mohamad A. Pourhoseingholi, Mohsen Vahedi, Mitra Rahimzadeh. Sample Size Calculation in Medical Studies, *Gastroenterol Hepatol Ded Bench* 2013;6:14-17.
41. Klemens Maier, Maria Willie, Martin Burtcher. The Prevalence of and Risk Factors of Acute Mountain Sickness in the Eastern and Western Alps, *High Alt Med Biol* 2010; 11: 343-348.
42. Schneider M, Bernasch D, Weymann J, Holle R, Bartsch P. Acute mountain sickness: influence of susceptibility, preexposure, and ascent rate. *Med Sci Sports Exerc* 2002; 34:1886–1891.
43. Ren Y, Fu Z, Shen W, Jiang P, He Y, Peng S, Wu Z, Cui B. Incidence of high altitude illnesses among unacclimatized persons who acutely ascended to Tibet. *High Alt Med Biol* 2010;11:39–42.
44. Wu TY, Ding SQ, Liu JL, Yu MT, Jia JH, Duan JQ, Chai ZC, Dai RC, Zhang SL, Liang BZ et al. Reduced incidence and severity of acute mountain sickness in Qinghai-Tibet railroad construction workers after repeated 7-month exposures despite 5-month low altitude periods. *High Alt Med Biol* 2009;10:221–32.
45. Honigman B, Theis MK, Koziol-McLain J, et al. Acute mountain sickness in a general tourist population at moderate altitudes. *Ann Intern Med* 1993;118:587–592.
46. Gaillard S., Deltasanta P., Loutan L., and Kayser B. Awareness, prevalence, medication use, and risk factors of acute mountain sickness in tourists trekking around the Annapurnas in Nepal: a 12-year follow-up. *High Alt. Med. Biol* 2014;5:410–419.
47. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, datos del relieve nacional continental, <http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/ver/territorio/relieve.aspx?tema=me&e=30>, accesado el 30.5.17.

11. Anexos

En esta sección se anexan los cuestionarios utilizados en el estudio

Edad: _____. Sexo: M F Peso ____ kg. Estatura ____ cm. Peso de su mochila: < 10 kg > 10 kg
 Lugar de residencia habitual(ciudad): _____ Fecha de llegada a la montaña: _____
 Punto más alto al que llegó: _____. Número de noches que acampó y dónde: _____.

En el día que se sintió peor, marque con una cruz los síntomas que tuvo y su intensidad. La escala es del 0 al 3, siendo 0 la ausencia del síntoma y 3 su intensidad máxima. Si no presentó el síntoma marque 0.

1. Dolor de cabeza (cefalea):		2. Fatiga / cansancio:	
Sin cefalea	0	Sin fatiga ni cansancio	0
Cefalea leve	1	Fatiga o cansancio leve	1
Cefalea moderada	2	Fatiga o cansancio moderado	2
Cefalea incapacitante/grave	3	Fatiga o cansancio grave	3
3. Náuseas o vómitos:		4. Mareo o aturdimiento:	
Sin náusea ni vómito	0	Sin mareo	0
Anorexia o náuseas leves	1	Mareo leve	1
Náusea y/o vómitos moderados	2	Mareo moderado	2
Náuseas y/o vómitos graves	3	Mareo grave e incapacitante	3
5. Trastornos del sueño (si no durmió en el parque marque 0)			
Ninguno / no dormí en el parque / no acampé		0	
No he dormido tan bien como de costumbre		1	
Me he despertado varias veces, he dormido mal		2	
No he podido dormir prácticamente nada		3	

- Si presentó síntomas ¿A qué altura comenzó a presentar síntomas? _____
- ¿Ud. cree que sufrió mal de montaña en esta excursión? SI NO
- Si ud. Tuvo síntomas ¿Fue necesario solicitar ayuda médica o de rescate? SI NO
- Si ud. Presentó síntomas ¿Qué tuvo que hacer para mejorar sus síntomas? _____
- Si presentó síntomas ¿Alguno de sus síntomas le impidió continuar su ascenso? SI NO
- ¿Ud. Realiza más de 150 minutos de ejercicio aeróbico a la semana de forma regular? SI NO
- ¿Ud. entrenó específicamente para esta excursión? SI NO
- ¿Ud. visitó a un médico específicamente para esta excursión? SI NO

A) Marque con si ud. presentó alguna de las siguientes condiciones en algún momento desde su llegada:

Palpitaciones o arritmia cardiaca	◇	Angustia / ansiedad / miedo	◇	Fiebre	◇
Labios o dedos azules	◇	Vértigo (que las cosas dan vueltas)	◇	Convulsiones	◇
Sed intensa	◇	Dolor de las articulaciones	◇	Otro _____	
Sueño intenso o somnolencia	◇	Diarrea	◇	Otro _____	
Tos	◇	Tos con sangre	◇	Otro _____	
Desmayo / desvanecimiento	◇	Dolor abdominal o de panza	◇		
Sangrado / heridas	◇	Golpes, caídas, esguinces	◇		
Quemaduras solares	◇	Pies hinchados o cara hinchada	◇		
Lentitud del pensamiento	◇	Desorientación	◇		
Alucinaciones	◇	Distensión abdominal / gases	◇		
Torpeza para caminar/manual	◇	Dolor o taponamiento de oídos o nariz	◇		
Dolor al respirar / falta de aire	◇	Dolor de pecho	◇		
Temblor de las manos	◇	Frío intenso / hipotermia / escalofríos	◇		
Visión borrosa	◇	Ceguera	◇		
Hormigueo/entumecido manos / pies	◇	Congelamiento de algún dedo	◇		

B) Marque si Ud. se considera un:

Cliente sin experiencia de montaña	◇	Cliente con moderada experiencia de montaña	◇
Cliente con avanzada experiencia de montaña	◇	Turista sin experiencia de montaña	◇
Turista con moderada experiencia de montaña	◇	Turista con avanzada experiencia de montaña	◇
Montañista con algo de experiencia en montaña	◇	Montañista experto / de élite / profesional	◇
Guía de montaña sin certificar	◇	Guía de montaña certificado	◇
Rescatista / policía de montaña / guardabosques	◇	Otro (indique): _____	

C) Indique con una marca si padece o ha padecido de alguna de las siguientes enfermedades:

Antecedente de Infarto del corazón	◇	Hipertensión (presión alta)	◇
Diabetes	◇	Prediabetes / intolerancia a los carbohidratos	◇
Ácido úrico alto / gota	◇	Colesterol o triglicéridos altos	◇
Epilepsia	◇	Infarto o derrame cerebral	◇
Bronquitis o enfisema (EPOC)	◇	Asma	◇
Fibrilación auricular o arritmia cardíaca	◇	Uso de marcapasos	◇
Alergias / atopia	◇	Insuficiencia cardíaca	◇
Cáncer (indique el tipo):	◇	Tuberculosis	◇
Migraña	◇	Dolor de espalda / lumbalgia crónica	◇
Síndrome de apnea obstructiva del sueño	◇	VIH /SIDA	◇
Hígado graso / esteatohepatitis	◇	Cirrosis hepática	◇
Insuficiencia renal crónica	◇	Uso de diálisis (peritoneal o hemodiálisis)	◇
Ronquidos nocturnos	◇	Uso de oxígeno en casa	◇
Trastorno depresivo o de ansiedad	◇	Esquizofrenia	◇
Sinusitis crónica	◇	Problemas de oído	◇
Anemia	◇	Hipertensión pulmonar	◇
Artritis degenerativa	◇	Problemas de oído	◇
Artitis (Reumatoide, lupus, Sjögren, otro)	◇	Alguna discapacidad	◇
Cirugía hace menos de 3 meses:	◇	Otro: _____	

9. Si ud. es mujer ¿Está ud. embarazada actualmente? SI NO NO SE 10. ¿Está ud. menstruando actualmente? SI NO

11.- ¿Ud consume alcohol con regularidad? SI NO En los últimos 3 días ¿ud. bebió alcohol? SI NO

12.- ¿Ud. Fuma? SI NO ¿Cuántos años ha fumado en su vida? _____ ¿Cuántos cigarrillos fuma al día? _____

13.- Indique si ud. utiliza alguna de las siguientes:

Mariguana	◇	Hojas de cocaína masticadas	◇
Cocaína en otras presentaciones	◇	Estimulantes (speed, éxtasis, etc)	◇
Alucinógenos (ácidos, peyote, mezcalina, mona)	◇	Heroína	◇
Anfetaminas	◇	Otra(s) (especifique): _____	

14.- Marque si ud. toma alguno de los siguientes medicamentos de forma regular:

Analgésicos / antiinflamatorios	◇	Antihistamínicos	◇
Antidiarréicos	◇	Aspirina	◇
Esteroides (cortisona, dexametasona)	◇	Diuréticos	◇
Medicinas para la presión alta	◇	Insulina	◇
Medicinas para la diabetes (no insulina)	◇	Antidepresivos	◇
Antibióticos	◇	Medicinas para dormir	◇
Anticonvulsivos	◇	Homeopatía	◇
Remedios naturistas	◇	Vitaminas	◇
Medicamentos para el colesterol	◇	Otros _____	◇

15.- Durante su estancia en el parque tomó algún medicamento además de su medicamento habitual? SI NO

Indique cuáles: _____

16.- ¿Cuántos litros de líquido bebió durante esta excursión? _____ L aproximadamente.

17.- ¿Ud. Buceó en los últimos 15 días? SI NO. ¿Ud. Fue a la playa en los últimos 15 días? SI NO

18.- ¿Sabía ud. qué es el mal de montaña antes de participar en este protocolo? SI NO

19.- ¿Reconoce ud. los síntomas de mal de montaña agudo? SI NO

20.- ¿Conoce ud. Quienes están más predispuestos a presentar mal de montaña agudo? SI NO

21.- ¿Conoce ud. el tratamiento del mal de montaña agudo? SI NO

22.- ¿Sabe ud. cómo prevenir el mal de montaña agudo? SI NO

23.- ¿Ha tomado ud. un curso de medicina de montaña o primeros auxilios en medios agrestes? SI NO

24.- ¿Su padre, madre, hermanos o hijos han presentado mal de montaña agudo? SI NO NO SE

25.- En los últimos 30 días ¿cuántas veces ha subido a más de 3500 msnm? _____

26.- ¿Alguna vez ha tenido mal de montaña agudo antes de esta encuesta?: SI NO NO SE

En caso de haber contestado sí, continúe, en caso contrario, termine la encuesta.

27.- ¿Alguna vez ha tenido edema pulmonar de altura? SI NO

28.- ¿Alguna vez ha tenido edema cerebral de altura? SI NO

29.- ¿Aproximadamente a qué altura ha presentado mal de montaña en el pasado? _____

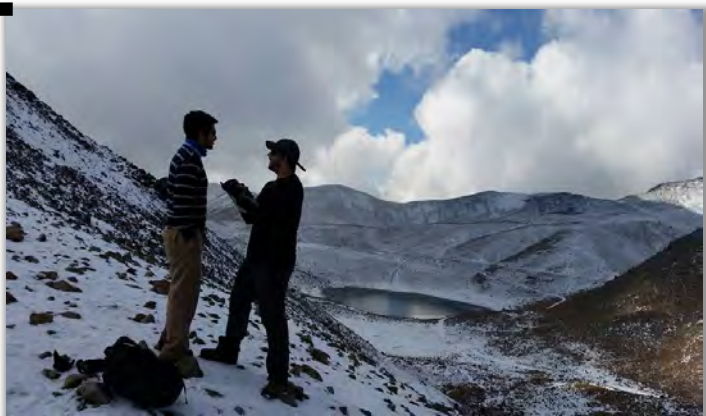
30.- ¿Hace cuánto tiempo fue su último episodio de mal de montaña? _____

31.- ¿Qué medidas tuvo que llevar a cabo para que desaparecieran los síntomas?

Descansar a la misma altura	◇	Descender	◇
Analgésicos	◇	Otro: _____	

12. Memorabilia

En esta sección se incluyen algunas fotografías que documentan el trabajo que realizamos en las montañas con el equipo de #MontañINNSZ y yo.



□ **Foto 1.** El Dr. Godolfino Miranda de #MontañINNSZ y yo iniciando las encuestas después de una nevada en el Xinantécatl (Nevado de Toluca) en Marzo 2017. Temp. externa 8°C



□ **Foto 2.** El personal del GTM/HAWC del INAOE contestando encuestas después de recibir una charla sobre mal de montaña agudo a 4580 msnm el de 9 de junio de 2017. Temp. ext erna 3°C.

□ **Foto 3.** La base en "La joyita" en la Iztaccíhuatl a 3970 msnm. Se observan unos montañistas descendiendo por la vereda que lleva a la cumbre (5520 msnm) por la cara sur de la montaña. A la derecha se observa el edificio que utilizan los equipos de rescate alpino como su base.



□ **Foto 4.** El autor impartiendo la charla de mal de montaña agudo y lesiones inducidas por frío al personal del INAOE en las instalaciones del GTM a 4580 msnm en junio de 2017. El público beneficiado fue de 38 personas.



□ **Foto 5.** El Dr. Antiga de #MontañINNSZ aplicando encuestas en las inmediaciones del la laguna del sol en el cráter del Xinantécatl (Nevado de Toluca) a aproximadamente 4200 msnm en Mayo 2017. Temp. externa 13°C.



□ **Foto 6.** Parte del equipo de #MontañINNSZ a 4400 msnm en el segundo portillo de la ruta sur de la Iztaccíhuatl en marzo 2017. Temperatura externa 18°C.

13. Agradecimientos

- A mis papas Lorena y Fernando por inculcarme la cultura de los deportes al aire libre y por apoyarme en la práctica de la medicina de ambientes agrestes a pesar del reto que significa hacerlo en México. Además, les agradezco por acompañarme en la visita a las instalaciones del GTM en donde nos maravillamos de la grandeza de la naturaleza y lo magnífico del ingenio humano que no tiene límites.
- A Loops por ser una inspiración y un motor, pero más que otra cosa por ser mi compañera en esta aventura y por compartir conmigo el gusto por la montaña. Que nuestro cariño sea testigo de lo vasto del horizonte desde la cima.
- Al equipo de amigos de montaña y médicos #MontañINNSZ, por su valiosísimo apoyo en la realización de las encuestas y su muy agradable compañía en los viajes a las montañas más altas de México. Gracias por su amistad en el camino a la cumbre.
- A los doctores, pero más importante, mis amigos, Carlos Armando Madrigal Iberri, Francisco Antiga, Godolfino Miranda y José Miguel Jiménez de #MontañINNSZ por su empeño y ayuda en la realización constante de encuestas.
- Al Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE) por permitirnos el acceso a las instalaciones del Gran Telescopio Milimétrico (GTM) para incluir a sus trabajadores en el estudio y por permitirme utilizar sus instalaciones para la charla “Mal de montaña agudo y lesiones inducidas por frío” para el personal del GTM/HAWC (High-Altitude Water Cherenkov Observatory) en junio 2017 en la cumbre del volcán Sierra Negra (Tliltépetl/Alinztzín).
- Al Dr. en astrofísica Jaime Mujica García quien escuchó del proyecto desde 2015 y mantuvo firme su palabra de permitirnos hacer una visita guiada a las instalaciones del GTM del INAOE.
- A la Ingeniera Janina Nava Ariza, coordinadora de las visitas al GTM/HAWC/INAOE por su excelente gestión y amabilidad en la organización de nuestra visita al GTM del INAOE.
- Al biólogo Esteban Alonso Mejía Olea, del INAOE por su excelente trato y amabilidad durante su guía en la visita al GTM.
- A la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), y en particular a la Bióloga Gisela Bernabé Martínez y al Ingeniero Amado Fernández Islas, de la Dirección Regional Centro y Eje Neovolcánico Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl por sus consideraciones en el acceso al parque nacional Izta-Popo y por los datos del resgistro de visitantes que amablemente nos otorgaron.
- A Franco Grasso y Carlos Barrena por sus consejos y por permitirme usar el foro de facebook Alpinismo México para informar y reclutar participantes en el estudio y por los boletines electronicos que amablemente diseñaron para tal fin.
- A la fundación Carlos Slim por escogerme como becario y por el apoyo económico que fue fundamental en la realización de este estudio.
- Al Dr. Alfonso Gulias Herrero y al Dr. José Javier Elizalde González por su tutoría.
- Al Instituto Nacional De Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán (INCMSZ) por ser mi casa a la que debo mi formación como médico internista y por permitirme fusionar mis intereses en medicina de altura y medicina interna.
- A la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) por otorgarme el grado de especialista y permitirme formar parte de la casa de estudio más reconocida de Latinoamérica.

