

ARTÍCULO ORIGINAL

Valoración mediante espirometría de mineros del carbón de Paipa, Colombia

Nubia González¹, Sara Lucía Díaz², Myriam Rocío Wilches², Mabel Patricia Franky², César Méndez^{1,3}, Andrea del Rosario Herrera²

¹ Grupo de Investigación HYGEA, Facultad Ciencias de la Salud, Universidad de Boyacá, Tunja, Colombia

² Grupo de Investigación OXIGENAR, Facultad Ciencias de la Salud, Universidad de Boyacá, Tunja, Colombia

³ Servicio de Medicina Interna, Hospital Regional de Duitama, Duitama, Colombia

Introducción: Las enfermedades respiratorias derivadas de la exposición a material en partículas, como sucede en la minería del carbón, continúa siendo un reto investigativo en el país y un problema de salud pública. La espirometría es una prueba de la función respiratoria, fundamental para el diagnóstico y la vigilancia de este tipo de enfermedades pulmonares crónicas.

Objetivo. Determinar los valores de la espirometría en la población minera de carbón del municipio de Paipa, y su asociación con la edad y el tiempo de exposición laboral.

Materiales y métodos. Se hizo un estudio descriptivo de corte transversal. Se diligenció el cuestionario de enfermedad respiratoria ocupacional de la *American Thoracic Society* (ATS), se registraron las mediciones de la espirometría y se interpretaron siguiendo las recomendaciones internacionales.

Resultados. La muestra incluyó 226 trabajadores de minas de carbón de Paipa; en 12,3 % (n=28) de ellos se registraron alteraciones leves, de tipo obstructivo o restrictivo. En 35 % (n=80) hubo disminución de la relación entre la capacidad vital forzada y el volumen espirado en el primer segundo (CVF/VEF₁). Se encontró una asociación estadísticamente significativa entre el rango de edad (p=0,002) y los años de trabajo minero (p=0,34), además de trastornos restrictivos y obstructivos. Asimismo, hubo una asociación estadísticamente significativa entre el rango de edad (p<0,01) y los años de trabajo minero (p<0,01), de diferente seriedad en el patrón de las mediciones de la espirometría.

Conclusiones. La espirometría es una prueba útil para detectar la presencia de trastornos respiratorios en la población minera del carbón. La enfermedad respiratoria en estos mineros estuvo significativamente asociada con el tiempo de exposición.

Palabras clave: espirometría; minería; carbón; ocupaciones; material particulado; exposición a riesgos ambientales.

doi: <https://doi.org/10.7705/biomedica.v34i2.3364>

Spirometry in a population of coal miners in Paipa, Colombia

Introduction: Respiratory diseases resulting from exposure to particulate matter such as in coal mining remains a research challenge in this country and a public health issue. Spirometry is a basic test of fundamental respiratory function for the diagnosis and monitoring of these types of chronic lung diseases.

Objective: To determine spirometric values in the coal mining municipality of Paipa and their association with age and occupational exposure times.

Materials and methods: We conducted a descriptive cross-sectional study. The occupational respiratory disease questionnaire of the American Thoracic Society (ATS) was completed while spirometric measurements were performed and interpreted in accordance with international recommendations for conducting the test.

Results: The sample consisted of 226 coal mining workers of the municipality of Paipa. Twenty-eight subjects (12.3%) of the sample showed patterns of obstructive and restrictive respiratory disease with mild degrees of severity. Eighty subjects (35%) showed a decrease in the forced vital capacity ratio/inspiratory volume in one second (FVC/FEV₁). A statistically significant association between age

Contribución de los autores:

Nubia González, Myriam Rocío Wilches y Mabel Patricia Franky: estructuración del proyecto, análisis, recolección de datos y escritura del manuscrito

Sara Lucía Díaz: trabajo de campo y escritura del manuscrito

César Méndez: análisis y validación de los datos de la espirometría y escritura del manuscrito

Andrea del Rosario Herrera: trabajo de campo

range ($p=0.002$) and years of mining work ($p=0.34$) with the development of restrictive and obstructive disorders was found. Also, there was a statistically significant association between age range ($p<0.01$) and years of mining work ($p<0.01$) with various degrees of severity of the spirometric pattern.

Conclusions: Spirometry is a useful test for detecting the presence of respiratory disorders in the population of coal miners. The time of exposure was significantly associated with the respiratory disease exhibited by these miners.

Key words: Spirometry; mining; coal; occupations; particulate matter; environmental exposure.

doi: <https://doi.org/10.7705/biomedica.v34i2.3364>

El carbón es el combustible fósil más abundante en la naturaleza, y su producción mundial asciende a 860.938 millones de toneladas al año. La producción de este mineral ubica a Colombia en el décimo primer lugar, con 6.593,4 millones de toneladas, equivalentes al 0,8 % de la producción mundial, lo cual lo convierte en el país con mayores reservas de carbón en América Latina (1).

La explotación de carbón representa una actividad importante debido a la gran demanda energética de países como China, India, Japón, Estados Unidos y Sudáfrica. Su extracción y consumo se asocian con el crecimiento económico, pero también, con la contaminación del medio ambiente (2).

La minería del carbón se considera como la más contaminante en todas las etapas de su proceso productivo y se asocia con problemas de salud en las comunidades, de integridad ecológica y en el clima global (3-5). Además, la actividad minera artesanal ha sido desatendida por los gobiernos en términos de salud ocupacional, condiciones de explotación, marginalidad económica y social, tecnología precaria e inestabilidad laboral.

Estos obstáculos impiden que se den las condiciones laborales y ambientales que garanticen la protección integral de la salud de los trabajadores (6). Entre las principales partículas que se transmiten por el aire en la explotación minera, está el sílice cristalino libre, que es el compuesto más abundante en la superficie terrestre y, por consiguiente, el polvo más común en el aire al que están expuestos los mineros. El sílice produce silicosis, una neumoconiosis típica que se desarrolla internamente tras muchos años de exposición. Además del sílice, o del silicio, otras partículas microscópicas suspendidas en el aire a

las que está expuesta la población minera, son las de amianto y el polvo de carbón, cuya inhalación puede causar el mesotelioma y la asbestosis (otro tipo de neumoconiosis) (7). En algunos estudios, se ha evidenciado la movilización de elementos como el flúor, con grandes repercusiones en la salud (8-12).

La neumoconiosis es la enfermedad más estudiada en los mineros de carbón. Está asociada con la exposición al material en partículas (13), específicamente proveniente del hierro y del sílice del mineral (14,15). A pesar de todos los esfuerzos dedicados a su prevención, la neumoconiosis continúa presentándose en los países industrializados y en desarrollo. Se sabe que la evolución de la neumoconiosis es insidiosa y progresiva; en sus etapas iniciales evoluciona de manera asintomática y, en la mayoría de los casos, se diagnostica cuando las complicaciones y secuelas pulmonares se encuentran en un estado avanzado en los trabajadores. El diagnóstico tardío imposibilita la atención médica oportuna para disminuir el daño pulmonar pues, como casi todas las enfermedades pulmonares ocupacionales, es irreversible y no hay un tratamiento específico (16).

El número de trabajadores expuestos a polvo de sílice en Colombia se ha estimado en 405.855, lo que corresponde a 6,1 % del total de los trabajadores afiliados al Sistema General de Riesgos Profesionales (17). En 37,7 % de los centros de trabajo del departamento de Boyacá, se ha determinado que el material en partículas es un factor de riesgo respiratorio (18). A pesar de estas cifras, el estudio de los posibles impactos de la minería del carbón en la salud son incipientes y hay muy pocas referencias de la gran prevalencia de síntomas respiratorios y alteración de la función respiratoria, relacionada con la explotación del carbón (19-26).

La *American Thoracic Society* y el *American College of Chest Physicians* han recomendado que la espirometría sea parte de la evaluación de rutina de los pacientes con enfermedades respiratorias y de aquellos con riesgo de desarrollarlas.

Correspondencia:

Nubia González, Facultad Ciencias de la Salud, Universidad de Boyacá, Carrera 2 este N° 64-169, Campus Universitario, Tunja, Colombia

Teléfono: 745 0022, extensión 1104

nubiagonzalez@uniboyaca.edu.co

Recibido: 28/05/16; aceptado: 14/12/16

La espirometría es un estudio simple, sin riesgo y reproducible, que permite efectuar la mejor evaluación funcional cuantitativa de las características mecánicas de la respiración, y hacer el seguimiento del paciente y de los tratamientos instituidos (27). La espirometría se considera una valiosa prueba de detección general de la salud respiratoria y de exploración de la función pulmonar (28), por lo que debería considerarse fundamental para la detección precoz, el diagnóstico, la valoración de la seriedad y el seguimiento de las enfermedades respiratorias crónicas, especialmente de aquellas que cursan con obstrucción del flujo aéreo (29,30).

En este contexto, el presente estudio tuvo como propósito determinar los valores de la espirometría y su asociación con la edad y el tiempo de exposición laboral de una población de mineros del carbón del municipio de Paipa, de manera que se establezca una línea de base que sirva para orientar la implementación de estrategias que mitiguen el riesgo respiratorio.

Materiales y métodos

Se llevó a cabo un estudio descriptivo de corte transversal entre el 2014 y el 2016 en el marco de un proyecto mayor de investigación de la población minera de carbón de Paipa, Colombia.

De la población total de trabajadores que cumplían con los criterios de inclusión, se tomó una muestra utilizando el programa Epidat®, con una precisión del 5 %, una confiabilidad del 95 % y una prevalencia esperada de alteración funcional respiratoria del 26,1 %. El muestreo de la población de estudio se hizo de forma no probabilística, por conveniencia.

Se incluyeron mineros de carbón de las veredas Salitre 1 y 2, Volcán, Cruz de Murcia y Jazminal, del municipio de Paipa, que desempeñaran cualquiera de las actividades de la mina (malacatero, cochero, piquero, administrador, trabajador en superficie o bajo tierra). Se excluyeron de la muestra los mineros con una vinculación laboral minera inferior a cinco años y los menores de edad.

Se consideraron como variables de interés aspectos sociodemográficos como la edad, el sexo, los años de trabajo en la minería y el terreno de trabajo (bajo tierra o superficie). Para evaluar los antecedentes tóxicos y alérgicos y la sintomatología respiratoria (exposición a humo de leña y cigarrillo, disnea, tos), se usó el cuestionario de enfermedad respiratoria ocupacional de la *American Thoracic Society*, ATS (31).

Evaluación por espirometría

Se evaluó el patrón de la espirometría (obstrutivo, restrictivo o mixto), la seriedad de la enfermedad y los valores específicos de la espirometría: la capacidad vital forzada (CVF), el volumen espirado forzado en el primer segundo (VEF_1), la relación entre el volumen espirado forzado en el primer segundo y la capacidad vital forzada (VEF_1/CVF), el flujo espiratorio forzado₂₅₋₇₅ y el flujo espiratorio pico (PEF).

La prueba (datos demográficos del paciente, datos ambientales, análisis de gráficas, calibración con jeringa de tres litros), se hizo según las recomendaciones internacionales de la Asociación Latinoamericana del Tórax (ALAT) (32-34). Para su interpretación, se tomaron los valores de referencia del *National Health and Nutrition Examination Survey* (NHANES) III y la graduación A de calidad de la prueba.

Se utilizó un espirómetro Vitalograph ALPHA Touch Modelo 6000® (Vitalograph), calibrado con jeringa de tres litros. Para evaluar el principio de detección de flujo, se utilizó un neumotacógrafo de Fleisch. La contrapresión de referencia fue menor de 0,1 kPa/L/s a 14 L/s, que cumple con las normas de la *American Thoracic Society* y la *European Respiratory Society* (ERS) de 2005.

La detección del volumen se hizo por integración de flujo, con muestreo a 100 Hz. La exactitud del volumen fue de ± 3 % o 0,05 L, con volumen máximo de 9,99 L, y volumen mínimo de 0,01 L. La linealidad aceptada fue mayor de ± 3 %. La exactitud en las condiciones del rango de temperatura de operación fue de ± 10 % o 0,3 L/s de flujo, con un flujo máximo de ± 16 L/s y un flujo mínimo de $\pm 0,02$ L/s.

Procesamiento y análisis de datos

Los datos recolectados se almacenaron, se tabularon y se sistematizaron con el paquete estadístico SPSS™, versión 20.0 (Chicago, IL). La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk se utilizó para analizar la distribución de los datos en cada variable. Se evaluaron las medias para las variables continuas y las proporciones para las categóricas o nominales, con sus correspondientes intervalos de confianza (IC). La prueba de ji al cuadrado se utilizó para determinar la significación estadística de las posibles asociaciones resultantes del análisis bivariado. Además, se establecieron relaciones de variables numéricas mediante la aplicación de pruebas paramétricas (Pearson). Se aceptó la significación estadística con un valor de $p < 0,05$.

Consideraciones éticas

El proyecto marco fue avalado formalmente por el Comité de Bioética de la Universidad de Boyacá (CB 121 del 29 de enero de 2015), a partir de lo establecido en la Resolución 008430 de 1993 emitida por el Ministerio de Salud, y se categorizó como una investigación de mínimo riesgo. Además, se contó con la aceptación y la firma del consentimiento informado.

Resultados

Aspectos sociodemográficos

Los 226 mineros seleccionados del total de 980, eran todos de sexo masculino. En cuanto al terreno de trabajo, 92 % (IC_{95%} 88-95) de los participantes trabajaba bajo la superficie. El promedio de edad fue de 36 años (DE=±0,31; IC_{95%} 35-38), y 17,7 % (n=226) de los sujetos de estudio estaba entre los 31 y los 40 años de edad. El promedio de tiempo de trabajo que reportó el grupo de mineros fue de 16 años (DE=±10,52; IC_{95%} 15-17), y 40 % de ellos llevaba trabajando entre 5 y 10 años. El 76 % (IC_{95%} 70-81) de la muestra tenía antecedentes de exposición al humo de leña y 62 % (IC_{95%} 55-68), al humo de cigarrillo. Con respecto a la presencia de síntomas respiratorios, 20 % (IC_{95%} 14-25) presentaba tos y 15 %, disnea (IC_{95%} 10-19).

Patrones de la espirometría y gravedad

En 13,2 % (n=30) de los participantes, se registraron alteraciones de tipo obstructivo (12,3 %; n=28) o restrictivo (1 %; n=2). El 9,8 % de los mineros presentó una anormalidad leve en la espirometría, fuera obstructiva (8,8 %) o restrictiva (1 %); otros, en porcentajes menores, se clasificaron como de seriedad moderada o como una variante fisiológica (cuadro 1).

Parámetros específicos de la espirometría

En el 35 % de la población, se registró una disminución de la relación entre la capacidad vital forzada y el volumen espirado en el primer segundo (VEF₁), lo cual concuerda con la presencia de trastorno obstructivo entre los participantes. En 32 % de ellos, se registró alteración del flujo espiratorio forzado₇₅ (FEF: 75%), lo cual es indicativo de una grave alteración fisiológica de las vías aéreas.

Relación entre el patrón general de la espirometría y el rango de edad

Se observó una asociación estadísticamente significativa (p=0,002) entre la edad y el desarrollo de trastornos restrictivos u obstructivos. El mayor porcentaje de mineros con un patrón restrictivo

estaba en el grupo de edad de los 18 a los 25 años, en tanto que los mineros con patrón obstructivo eran mayores de 45 años (cuadro 2).

Relación entre el patrón de la espirometría y los años de trabajo minero

Se presentó una asociación estadísticamente significativa (p=0,34) entre los años de trabajo y el desarrollo de trastornos pulmonares (cuadro 3).

Asociación entre la gravedad de los patrones de la espirometría y el rango de edad

Se demostró una asociación estadísticamente significativa (p<0,01) entre gravedad del patrón de la espirometría y el rango de edad, registrándose la mayor gravedad a partir de los 41 a 45 años de edad (cuadro 4).

Asociación entre la gravedad de los patrones de la espirometría y los años de trabajo minero

Hubo una asociación estadísticamente significativa (p<0,01) entre seriedad del patrón de la espirometría y los años dedicados a la minería, registrándose la mayor proporción de casos graves a partir de los 26 a 30 años de trabajo minero (cuadro 1).

Discusión

El estudio demostró que la espirometría fue una herramienta útil para evaluar la presencia de enfermedad pulmonar en un grupo de mineros de una población dedicada a la explotación de carbón. Se evidenció que predominó la alteración obstructiva y que el trastorno de tipo restrictivo tuvo menor frecuencia; la anormalidad en la espirometría, fuera obstructiva o restrictiva, fue leve en la mayoría de los casos; en la espirometría, los patrones de CVF/VEF₁ y de FEF₇₅ registraron disminución en sus valores. La edad y los años de trabajo minero se asociaron con la presencia de trastornos en la espirometría y su gravedad.

Los parámetros de las pruebas de función pulmonar presentaron una gran variabilidad entre los individuos, ya que dependen de las características antropométricas de los pacientes, como se ha documentado previamente (34).

El sexo de los sujetos de la muestra de estudio refleja que la actividad laboral en las minas de carbón está a cargo de los hombres, fundamentalmente, lo cual coincide con los datos reportados en los estudios de González, *et al.* (20), Garrote, *et al.* (25), Ospina, *et al.* (24), y Jiménez, *et al.* (26), en los cuales la mayoría de los trabajadores, cuando no todos, también eran del sexo masculino. En general, son

Cuadro 1. Asociación entre la gravedad de los patrones de la espirometría y los años de trabajo minero

Grado de gravedad y patrón de la espirometría	Años de trabajo minero																p						
	5 a 10		11 a 15		16 a 20		21 a 25		26 a 30		31 a 35		36 a 40		41 a 45			46 a 50		Total			
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%		n	%	n	%		
Variante fisiológica	2	40,0	1	20,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	20,0	1	20,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	5	100	
Leve	6	27,3	3	13,6	2	9,1	4	18,2	2	9,1	3	13,6	1	4,5	0	0,0	1	4,5	22	100	0,000*		
Moderado	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	33,3	1	33,3	0	0,0	1	33,3	0	0,0	3	100			
Normal	82	41,8	44	22,4	29	14,8	13	6,6	9	4,6	8	4,1	9	4,6	2	1,0	0	0,0	196	100			
Total	90		48		31		17		12		13		11		3		1		226				

* Significación estadística, con $p \leq 0,05$ **Cuadro 2.** Patrón de la espirometría y rangos de edad

Patrón general de la espirometría	Rangos de edad (años)														p								
	18 a 25		26 a 30		31 a 35		36 a 40		41 a 45		46 a 50		51 a 55			56 a 60		60 a 65		Total			
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%		n	%	n	%	n	%		
Obstructivo	3	10,7	2	7,1	1	3,6	4	14,3	8	28,6	2	7,1	3	10,7	3	10,7	2	7,1	2	7,1	28	100	
Restrictivo	1	50,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	50,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	2	100	0,002*
Normal	35	17,9	31	15,8	39	19,9	36	18,4	25	12,8	9	4,6	17	8,7	3	1,5	1	5	5	196	100		
Total	39	17,3	33	14,6	40	17,7	40	17,7	33	14,6	12	5,3	20	8,8	6	2,7	3	1,3	226	100			

* Significación estadística con $p \leq 0,05$ **Cuadro 3.** Patrón de la espirometría y años de trabajo minero

Patrón general de la espirometría	Años de trabajo minero																p				
	5 a 10		11 a 15		16 a 20		21 a 25		26 a 30		31 a 35		36 a 40		41 a 45			46 a 50		Total	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%		n	%	n	%
Obstructivo	6	21,4	4	14,3	2	7,1	4	14,3	3	10,7	5	17,9	2	7,1	1	3,6	1	3,6	28	100	
Restrictivo	2	100	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	2	100	0,034
Normal	82	41,8	44	22,4	29	14,8	13	6,6	9	4,6	8	4,1	9	4,6	2	1,0	0	0,0	196	100	
Total	90	39,8	48	21,2	31	13,7	17	7,5	12	5,3	13	5,8	11	4,9	3	1,3	1	4	226	100	

* Significación estadística con $p \leq 0,05$ **Cuadro 4.** Grado de seriedad de los patrones de la espirometría y rangos de edad

Grado de seriedad y patrón de la espirometría	Rangos de edad (años)														p								
	10 a 25		26 a 30		31 a 35		36 a 40		41 a 45		46 a 50		51 a 55			56 a 60		60 a 65		Total			
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%		n	%	n	%	n	%		
n	0	0,0	1	20,0	0	0,0	2	40,0	0	0,0	1	20,0	1	20,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	5	100	
Leve	4	18,2	1	4,5	1	4,5	2	9,1	8	36,4	1	4,5	1	4,5	3	13,6	1	4,5	22	100	0,000*		
Moderado	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	33,3	1	33,3	0	0,0	1	33,3	3	100			
Normal	35	17,9	31	15,8	39	19,9	36	18,4	25	12,8	9	4,6	17	8,7	3	1,5	1	5	196	100			
Total	39		33		40		40		33		12		20		6		3		226				

* Significación estadística con $p \leq 0,05$

escasos los estudios que mencionan la presencia de mujeres entre la población minera, por lo cual no se las incluye en las poblaciones de estudio.

Al examinar la participación diferenciada por sexo en este sector, las cifras de empleo en Colombia correspondientes al periodo de 2001 a 2006 y

publicadas por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), establecen que, en el 2001, las mujeres representaban el 18,6 % de la fuerza de trabajo ocupada en el sector minero, mientras que, en el 2006, representaban el 19,8 %, pasando de 17.000 a 43.000 trabajadoras en esta rama de la industria. Por el contrario, los hombres pasaron de 74.000 a 174.000 ocupados en este sector durante el mismo período, es decir, pasaron de representar el 81,4 % al 80 % del total.

Se encontró en el estudio que 92 % de los mineros de carbón desarrollaba su actividad bajo la superficie, lo cual coincide con lo hallado en otros estudios en los que se han encontrado porcentajes de 68,8 % (20), 69,5 % (26), 72,4 % (24) y 85,3 % (25). Ello implica que esta población esté expuesta no, solo al material en partículas, sino a gases contaminantes, ya que en la mayoría de estas minas la extracción del carbón se hace con técnicas rudimentarias.

El promedio de edad de la muestra estudiada (36 años) es similar a lo reportado en los estudios de González, *et al.*, y de Ospina, *et al.* (20,24), en los cuales la edad promedio fue de 30 años, así como en los de Jiménez, *et al.* (26), con una edad promedio de 31,5 años, y en los de González, *et al.* (20), y de Abril, *et al.* (36), en los cuales la edad promedio fue de 37 años.

En este estudio, la edad mínima fue de 18 años, sin embargo, esta cifra no representa la realidad de la población, ya que aquí se incluyeron solo mineros mayores de edad. De todas maneras, se encontró que en la población estudiada las personas de 18 años llevaban en promedio de dos a tres años trabajando en las minas, lo que demuestra que iniciaron su actividad minera antes de cumplir la mayoría de edad permitida para laborar. En los estudios mencionados, la edad fue menor, entre los 15 y los 17 años. A pesar de que en el presente estudio la edad máxima fue de 65 años, algunos estudios revisados reportaron mineros de carbón mayores de 65 años (21).

En cuanto a los años de trabajo en el sector minero, la muestra del estudio reportó una media de 16 años, con un mínimo de 5 y un máximo de 45 años. Estos datos son similares a lo reportado por Jiménez, *et al.* (26), en cuyo estudio el tiempo de trabajo en las minas fluctuó entre menos de un año y 46 años. Esto demuestra que la exposición a riesgos físicos y químicos es inherente a esta actividad laboral y que el riesgo de desarrollar

problemas pulmonares es mayor, lo cual justifica la necesidad de vigilar la salud de los trabajadores mineros (24).

En cuanto a los antecedentes tóxicos y alérgicos, el 76 % de la población minera estudiada tenía antecedentes de exposición al humo de leña y, el 62 %, al humo de cigarrillo. Estos hallazgos son similares a lo encontrado por González, *et al.* (20), quienes confirmaron el uso de leña y carbón para la preparación de la comida en los hogares de este grupo de trabajadores.

En cuanto a la sintomatología respiratoria de la población minera estudiada, la tos se presentó en el 20 % y la disnea en el 15 %, una proporción menor que la reportada en el estudio de González, *et al.* (20), quienes registraron que el 42,7 % de los encuestados experimentaban tos crónica y que los síntomas respiratorios se presentaban con mayor frecuencia en quienes trabajaban bajo la superficie y en profundidad, como los piqueros y cocheros. Asimismo, según los datos reportados por Garrote, *et al.* (25), el 90 % de la población del estudio tenía algún síntoma respiratorio (disnea, tos, expectoración o sibilancias, morbilidad respiratoria), lo cual contrasta con los datos reportados en este estudio. La disnea en la muestra estudiada, se presentó en un porcentaje similar al reportado anteriormente en la población minera de este municipio, donde el síntoma se valoró con tres escalas de percepción de fatiga y registró grados bajos y medios (21). Este dato probablemente esté asociado con el inicio de la enfermedad respiratoria crónica, cuando aún no hay compromiso de la relación entre la ventilación y la perfusión, o esta no es sugestiva de enfermedad respiratoria en progreso.

Con respecto a la saturación arterial de oxígeno de la población minera estudiada, solo disminuyó en el 11 %, resultado similar a lo reportado en el estudio de González, *et al.* (20), en el que el 3,9 % del total de la población de estudio presentó una saturación arterial de oxígeno inferior al 90 %.

En cuanto a los hallazgos de la espirometría, el estudio reveló que el 13,2% (n=30) de la muestra presentaba alteraciones de tipo obstructivo o restrictivo, dato que contrasta con los resultados de González, *et al.*, en el 2009, en esta misma población (20), quienes reportaron un patrón anormal en la espirometría en el 26,1 % de la muestra, así como con las cifras informadas por Garrote, *et al.* (25) en el 2013, del 97,6 % de los sujetos con alteración en la espirometría.

Con respecto al tipo de patrón anormal de la espirometría, en este estudio se registraron 12,3 % (n=28) de patrones de obstrucción y 1 % (n=2) de patrones de restricción. Estos porcentajes difieren significativamente de los patrones registrados en el estudio de González, *et al.* (20), de 21,5 % con el obstructivo, 72,9 % con el restrictivo y 5,6 % con el mixto, y el de Garrote, *et al.* (25), de 2,4 % (n=4) con el obstructivo y de 7,8 % (n=13) con el restrictivo. Estas diferencias se pueden atribuir a los criterios de inclusión y exclusión establecidos en cada estudio, al igual que al tamaño de la muestra y al tipo de muestreo utilizado.

En el 9,8 % de los participantes, la seriedad de las alteraciones obstructivas o restrictivas en la espirometría fue de grado leve. Este porcentaje difiere del reportado por González, *et al.*, quienes registraron grados entre moderados y muy graves en 33,6 % de la muestra. Esta diferencia se debe, probablemente, a un tiempo de exposición más prolongado y a rangos de edad más avanzada en este último estudio (20).

Al analizar cada uno de los parámetros de la espirometría, se pudo observar que, en términos generales, estuvieron dentro de los límites de normalidad para este tipo de mineros. Estos resultados constituyen un aporte significativo a la caracterización de estas poblaciones, que no habían tenido una valoración respiratoria detallada, por lo menos en nuestro medio. A diferencia del estudio de González, *et al.* (20), en el 2009 en esta misma población, el valor agregado del presente estudio radica en que se detallaron parámetros de la espirometría como la CVF, el VEF₁, la relación CVF/VEF₁, el FEF₂₅₋₇₅ y el FEP. Los datos de este estudio demostraron una disminución de la relación CVF/VEF₁ en el 35 % de la población, dato que es coherente con la frecuencia de los patrones obstructivos en la espirometría, en la cual este parámetro funcional es un marcador importante para la tipificación de este tipo de alteración (33). Asimismo, las disminuciones en el FEF₂₅₋₇₅ indican que se ha producido una alteración fisiológica de las vías aéreas de gran calibre, aspecto que ratifica, una vez más, los patrones obstructivos registrados.

En otros estudios a nivel internacional en poblaciones mineras para evaluar la función pulmonar a partir de pruebas de espirometría, como el de Wang, *et al.* (37), en una población de 6.373 mineros de minas subterráneas de carbón de algunos condados de Estados Unidos, se han reportado anomalías en la espirometría en el 13,1%

(n=836) de ellos: 6,4 % con patrón restrictivo, 5,4 % con patrón obstructivo y 1,3 % con patrón mixto. A pesar de la diferencia de contextos y de las muestras, los hallazgos muestran similitudes con los de este estudio en los porcentajes totales de las alteraciones. Asimismo, es patente una diferencia en los patrones de anomalías en la espirometría, que, en este estudio, fueron más frecuentes para la obstrucción que para la restricción, en tanto que no se encontraron patrones mixtos.

Altekruse, *et al.* (38), reportaron porcentajes de valores de la CVF/VEF₁ significativamente inferiores con el aumento de los años de trabajo en trabajadores con caolinosis, datos que de alguna forma guardan similitud con los hallazgos de este estudio, en el que se reportó una disminución de la relación CVF/VEF₁ en el 35 % de los participantes evaluados. Además, hubo una asociación estadística significativa (p=0,34) entre los años de trabajo minero, un tiempo de exposición de 5 a 10 años y el desarrollo de trastornos restrictivos u obstructivos, lo cual se tradujo en una disminución de los parámetros funcionales mencionados.

En un grupo de mineros de un distrito de Nottinghamshire con edades entre 40 y 70 años (39), valorado con pruebas de función pulmonar, se observó un déficit medio en el VEF₁ cuantificado en un litro o más con respecto a los valores de FEV₁ predichos, lo cual reafirma la constancia en la disminución de este parámetro de la función pulmonar y de la relación entre CVF y VEF₁, como se constató en este estudio y en otros más en el contexto internacional (40-42).

La asociación estadísticamente significativa (p=0,34) reportada en el estudio entre los años de trabajo minero (tiempo de exposición) y la aparición de la alteración en la espirometría, reafirma la relación lineal estadísticamente significativa que se ha reportado también en los estudios de Naidoo, *et al.* (43), y de López, *et al.* (44).

Una de las fortalezas de este estudio es la contribución de nuevos datos sobre la función pulmonar en la población minera del carbón, lo cual permitirá cuantificar de forma objetiva los daños ocasionados por esta actividad laboral para que la exposición al material en partículas se dimensione como un problema de salud pública en el contexto local, regional y nacional, en aras del establecimiento de políticas específicas.

Las limitaciones del estudio están relacionadas con el tipo de muestreo, pues no permite generalizar los resultados con precisión estadística para esta

población (sesgo de confusión en la fase de diseño). También, hubo un sesgo de medición y no se contempló el control de las variables de confusión o distractoras; sin embargo, el estudio abre la puerta a futuras investigaciones que contemplen el control de este tipo de sesgos y variables de confusión, con lo cual se podrán hacer extrapolaciones internas y externas de los resultados.

Los resultados del trabajo brindan datos de base muy importantes para implementar un programa integral de rehabilitación pulmonar en la población afectada.

Agradecimientos

A la Cooperativa Agrominera de Paipa, AGROMIN, y a la población minera participante en el estudio.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen conflictos de intereses.

Financiación

Como parte del proyecto marco sobre la “Asociación de actividad minera y pruebas funcionales respiratorias en población trabajadora de minas de carbón de Paipa, Boyacá, Colombia, 2014-2016”, el presente estudio fue patrocinado por la Universidad de Boyacá, por Colciencias (contrato de joven investigador – innovador 645 de 2014), y por Gestión Energética S.A. E.S.P., GENSA S.A. E.S.P y NONIN Medical INC.

Referencias

- Ministerio de Minas y Energía.** Cadena del carbón. Bogotá: Unidad de Planeación Minero-Energética; 2012. p. 80. Fecha de consulta: 23 de octubre de 2015. Disponible en: www.upme.gov.co/Docs/Cadena_Carbon_2012.pdf.
- George KV, Patil DD, Alappat BJ.** PM10: PM10 in the ambient air of Chandrapur coal mine and its comparison with other environments. *Environ Monit Assess.* 2013;185:1117-28. <https://doi.org/10.1007/s10661-012-2619-8>
- Verbel JO, Gallardo KC, Castilla AG.** Implicaciones de la minería del carbón en el ambiente y la salud humana: una aproximación abreviada al estado del arte. En: Contraloría General de la República. Minería en Colombia: institucionalidad y territorio, paradojas y conflictos. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia; 2013. p. 229.
- Keating M.** Cradle to grave: The environmental impacts from coal. Boston: Clean Air Task Force; 2001. p. 1-9.
- Mamurekli D.** Environmental impacts of coal mining and coal utilization in the UK. *Acta Montanistica Slovaca Rocnik.* 2010;15:134-44.
- Alcaldía de Paipa, Cooperativa Agrominera Multiactiva de Paipa.** Estudio de condiciones de trabajo y salud del sector minero de Paipa. Paipa: Coagromin; 2001.
- Weeks JL.** Peligros para la salud en la minería y las canteras: minas y canteras. En: Organización Internacional del Trabajo, editor. Enciclopedia de la OIT. Madrid: D-INSHT; 2012.
- Luo K, Renb D, Xua L, Daib S, Caob D, Fenga F, et al.** Fluorine content and distribution pattern in Chinese coals. *Int J Coal Geol.* 2004;57:143-9. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2003.10.003>
- Wu D, Zheng B, Tang X, Li S, Wang B, Wang M.** Fluorine in Chinese coals. *Fluoride.* 2004;37:125-32.
- Guijian L, Liugen Z, Duzgoren-Ayidin N, Lianfen G, Juunhhua L, Zicheng P.** Health effects of arsenic, fluorine, and selenium from indoor burning of Chinese coal. *Rev Environ Contam Toxicol.* 2007;189:89-106.
- World Health Organization.** Environment health criteria. Geneva: World Health Organization; 2007.
- Marshall E.** The fluoride debate: One more time. *Science.* 1990;247:276-7. <https://doi.org/10.1126/science.2296717>
- Karkhanis VS, Joshi JM.** Pneumoconioses. *Indian J Chest Dis Allied Sci.* 2013;55:25-34.
- Attfield MD, Petsonk EL, Wagner GR.** Enfermedades pulmonares en los mineros de carbón. En: Organización Internacional del Trabajo. Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo. Ginebra: OIT; 2012.
- McCunney RJ, Morfeld P, Muranko H.** Carbon black. *Environ Health Perspect.* 2011;119:A332-3. <https://doi.org/10.1289/ehp.1103444>
- McCunney RJ, Morfeld P, Payne S.** What component of coal causes coal workers' pneumoconiosis? *J Occup Environ Med.* 2009;51:462-71. <https://doi.org/10.1097/JOM.0b013e3181a01ada>
- Ministerio de la Protección Social.** Plan nacional para la prevención de la silicosis, la neumoconiosis de los mineros de carbón y la asbestosis, 2010-2030. Bogotá: Ministerio de la Protección Social; 2011.
- Ministerio de la Protección Social.** Primera encuesta nacional de condiciones de salud y trabajo en el sistema general de riesgos profesionales. Bogotá: Ministerio de la Protección Social; 2007.
- León-Mejía G, Espitia-Pérez L, Hoyos-Giraldo LS, Da Silva J, Hartmann A, Henriques JA, et al.** Assessment of DNA damage in coal open-cast mining workers using the cytokinesis-blocked micronucleus test and the comet assay. *Sci Total Environ.* 2011;409:686-91. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.10.049>
- González NM, Abril FG, Díaz JM, Cubaque MA, Villamil EH.** Utilidad de las técnicas de espirometría y oximetría en la predicción de alteración pulmonar en trabajadores de la minería del carbón en Paipa, Boyacá. *Rev Fac Med (Bogotá).* 2009;57:100-10.
- González NM, Mateus EG, Rojas MP, Niño CA.** Evaluación de la disnea en un grupo de mineros del carbón de municipio de Paipa, Boyacá. *Ciencia y Salud.* 2013;2:21-6.
- González NM, Fernández LF, Riveros EP.** Caminata de seis minutos en un grupo de mineros de carbón del municipio de Paipa, Boyacá, 2010-2011. *Rev Colomb Neumol.* 2011; 23:34-9.

23. **Ospina JM, González NM, Fernández LJ.** Evidencia temprana de alteración funcional por exposición respiratoria: minería artesanal del carbón en Paipa, Colombia. *Rev Fac Nac Salud Pública.* 2011;29:445-53.
24. **Ospina JM, Manrique FG, Guío JA.** Salud y trabajo: minería artesanal del carbón en Paipa, Colombia. *Avances en Enfermería.* 2010;28:107-15.
25. **Garrote CF, Malagón JN, Morgan G, Combariza D, Varona M.** Caracterización de las condiciones de salud respiratoria de los trabajadores expuestos a polvo de carbón en minería subterránea en Boyacá, 2013. *Revista UIS Salud.* 2014;46:237-47.
26. **Jiménez CP, Zabala IT, Idrovo AJ.** Condiciones de trabajo y morbilidad entre mineros del carbón en Guachetá, Cundinamarca: la mirada de los legos. *Biomédica.* 2015;35:77-89. <https://dx.doi.org/10.7705/biomedica.v35i0.2439>
27. **Szeinuk J.** Espirometría simple en adultos sanos no fumadores a nivel de Bogotá. *Acta Méd Colom.* 1988;13:452-6.
28. **Torre-Bouscoulet L, Pérez-Padilla R.** Ajuste de varias ecuaciones de referencia espirométrica a una muestra poblacional en México. *Salud Pública Méx.* 2006;48:466-73.
29. **American Thoracic Society, European Respiratory Society.** Standardization of spirometry. *Eur Respir J.* 2005;26:319-38.
30. **Represas-Represas C, Botana-Rial M, Leiro-Fernández V, González-Silva AI, García-Martínez A, Fernández-Villar A.** Short- and long-term effectiveness of a supervised training program in spirometry use for primary care professionals. *Arch Bronconeumol.* 2013;49:378-82. <https://dx.doi.org/10.1016/j.arbres.2013.01.001>
31. **American Thoracic Society.** Recommended respiratory disease questionnaires for use with adults and children in epidemiological research. Fecha de consulta: 23 de octubre de 2015. Disponible en: <https://www.thoracic.org/members/assemblies/assemblies/srn/questionnaires/sgrq.php>
32. **Pérez R, Valdivia G, Muiño A, López MV, Márquez MN, Montes de Oca M, et al.** Spirometric reference values in 5 large Latin American cities for subjects aged 40 years or over. *Arch Bronconeumol.* 2006;42:317-25.
33. **Vásquez JC, Pérez R.** Interpretación de la espirometría en 10 pasos. Guía de bolsillo. México: Asociación Latinoamericana de Tórax, ALAT; 2012. p. 1-48.
34. **García-Río F, Calle M, Burgos F, Casan P, Del Campo F, Galdiz JB, et al.** Normativa sobre la espirometría. Barcelona: Sociedad Española de Neumología y Cirugía Torácica, SEPAR; 2013. p. 66.
35. **Bermúdez RE, Rodríguez T, Roa T.** Mujer y minería: ámbitos de análisis e impactos de la minería en la vida de las mujeres, enfoque de derechos y perspectiva de género. Fecha de consulta: 27 de enero de 2016. Disponible en: https://deterresminees.pasc.ca/wp-content/uploads/2015/11/Bermudez-Rico-et-al-2011-Mujer_y_Mineria.pdf
36. **Abril J, González M.** Condiciones de salud y trabajo en la mina de carbón El Samán, Municipio de Sardinata (Norte de Santander) (tesis). Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana; 2009. p. 89.
37. **Wang ML, Beekman-Wagner LA, Wolfe AL, Syamlal G, Petsonk EL.** Lung-function impairment among US underground coal miners, 2005 to 2009: Geographic patterns and association with coal workers' pneumoconiosis. *J Occup Environ Med.* 2013;55:846-50. <https://dx.doi.org/10.1097/JOM.0b013e31828dc985>
38. **Altekruse EB, Chaudhary BA, Pearson MG, Morgan WK.** Kaolin dust concentrations and pneumoconiosis at a kaolin mine. *Thorax.* 1984;39:436-41.
39. **Lewis S, Bennett J, Richards K, Britton J.** A cross sectional study of the independent effect of occupation on lung function in British coal miners. *Occup Environ Med.* 1996;53:125-8.
40. **Soutar CA, Hurley JF.** Relation between dust exposure and lung function in miners and ex-miners. *Br J Ind Med.* 1986;43:307-20.
41. **Blackley DJ, Laney AS, Halldin CN, Cohen RA.** Profusion of opacities in simple coal workers' pneumoconiosis is associated with reduced lung function. *Chest.* 2015;148:1293-9. <https://doi.org/10.1378/chest.15-0118>
42. **Wang M, Wu Z, Du Q, Petsonk E, Peng K, Li Y, et al.** A prospective cohort study among new Chinese coal miners: The early pattern of lung function change. *Occup Environ Med.* 2005;62:800-5. <https://doi.org/10.1136/oem.2005.020271>
43. **Naidoo RN, Robins TG, Solomon A, White N, Franzblau A.** Radiographic outcomes among South African coal miners. *Int Arch Occup Environ Health.* 2004;77:471-81. <https://doi.org/10.1007/s00420-004-0532-3>
44. **López-Rojas F, Nava-Larraguivel R, Salinas-Tovar S, Santos-Celis R, Marín-Cotoñieto RA, Méndez-Vargas MM.** Neumoconiosis en trabajadores expuestos a polvos inorgánicos. *Rev Med IMSS.* 2008;46:163-70.