

Sibaté y la amenaza del asbesto

Contaminación ambiental e impactos en la salud de la población

JUAN PABLO RAMOS-BONILLA | MARÍA FERNANDA CELY-GARCÍA | BENJAMIN LYSANIUK
MARGARITA GIRALDO | ROBERTO PASETO | PIETRO COMBA | BENEDETTO TERRACINI
DANIELA MARSILI | AGATA MAZZEO | MARÍA CAMILA RODRÍGUEZ
ROCÍO DEL PILAR LÓPEZ PANQUEVA | MARGARITA BALDIÓN | DIANA CAÑÓN
LUIS GERARDO GARCÍA-HERREROS | BIBIANA PINZÓN | YORDI ALEJANDRO SILVA



Sibaté y la amenaza del asbesto

Sibaté y la amenaza del asbesto

Contaminación ambiental e impactos en la salud de la población

Juan Pablo Ramos-Bonilla
María Fernanda Cely-García
Benjamin Lysaniuk
Margarita Giraldo
Roberto Pasetto
Pietro Comba
Benedetto Terracini
Daniela Marsili
Agata Mazzeo
María Camila Rodríguez
Rocío del Pilar López Panqueva
Margarita Baldión
Diana Cañón
Luis Gerardo García-Herreros
Bibiana Pinzón
Yordi Alejandro Silva

Universidad de los Andes
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental

Sibaté y la amenaza del asbesto : contaminación ambiental e impactos en la salud de la población / Juan Pablo Ramos-Bonilla. – Primera edición. –

Bogotá : Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Ediciones Uniandes, 2023.

xii, 59 páginas : ilustraciones ; on line

Otros autores: María Fernanda Cely-García, Benjamin Lysaniuk, Margarita Giraldo, Roberto Pasetto, Pietro Comba, Benedetto Terracini, Daniela Marsili, Agata Mazzeo, María Camila Rodríguez, Rocío del Pilar López Panqueva, Margarita Baldión, Diana Cañón, Luis Gerardo García-Herreros, Bibiana Pinzón, Yordi Alejandro Silva.

ISBN on line: 978-958-798-574-0

1. Asbesto 2. Contaminación ambiental -- Sibaté (Cundinamarca, Colombia) 3. Salud pública -- Sibaté (Cundinamarca) I. Ramos Bonilla, Juan Pablo II. Universidad de los Andes (Colombia). Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental II. Tít.

CDD 363.1791

SBUA

Primera edición: noviembre del 2023

© Juan Pablo Ramos-Bonilla, María Fernanda Cely-García, Benjamin Lysaniuk, Margarita Giraldo, Roberto Pasetto, Pietro Comba, Benedetto Terracini, Daniela Marsili, Agata Mazzeo, María Camila Rodríguez, Rocío del Pilar López Panqueva, Margarita Baldión, Diana Cañón, Luis Gerardo García-Herreros, Bibiana Pinzón y Yordi Alejandro Silva.

© Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental

Ediciones Uniandes

Carrera 1.ª n.º 18A-12, bloque TM

Bogotá, D. C., Colombia

Teléfono: 601 339 4949, ext. 2133

<http://ediciones.uniandes.edu.co>

ediciones@uniandes.edu.co

ISBN e-book: 978-958-798-574-0

Corrección de estilo: Laura Porras

Diagramación: Leonardo Cuéllar

Imagen de cubierta: *Panorámica del municipio de Sibaté y el embalse del Muña, tomada por el equipo de investigadores el 30 de agosto del 2019, en dirección norte desde el mirador de la Virgen*, de Juan Pablo Ramos Bonilla

Todos los derechos reservados. Esta publicación no puede ser reproducida ni en su todo ni en sus partes, ni registrada en o transmitida por un sistema de recuperación de información, en ninguna forma ni por ningún medio, sea mecánico, fotoquímico, electrónico, magnético, electro-óptico, por fotocopia o cualquier otro, sin el permiso previo por escrito de la editorial.

Universidad de los Andes | Vigilada Mineducación.

Reconocimiento como universidad: Decreto 1297 del 30 de mayo de 1964.

Reconocimiento de personería jurídica: Resolución 28 del 23 de febrero de 1949, Minjusticia.

Acreditación institucional de alta calidad, 10 años: Resolución 582 del 9 de enero del 2015, Mineducación.

Contenido

Prólogo	XI
Agradecimientos	1
Introducción	3
Desarrollo de la investigación	11
¿Qué se hizo para evaluar la situación de salud en el municipio?	11
¿Cómo se identificaron y caracterizaron los sitios contaminados con asbesto?	13
Hallazgos del estudio	19
Impactos del asbesto en la salud de los habitantes de Sibaté	19
Localización, caracterización y evaluación del riesgo de los sitios contaminados con asbesto en Sibaté	25

Conclusiones y recomendaciones	45
Declaración de conflictos de interés	51
Referencias	53
Directorio de autores	57

Lista de recursos gráficos

Figura 1.	Ubicación de Sibaté y división del territorio	7
Figura 2.	Muestreo ABS	15
Figura 3.	Zonas rellenadas en Sibaté	26
Figura 4.	Lugares de toma de muestras	27
Figura 5.	Campaña de muestreo de suelo realizada el 14 de septiembre del 2017	31
Figura 6.	Ubicación de las muestras tomadas el 18 de octubre del 2018	34
Figura 7.	Evolución de la zona urbana de Sibaté desde 1950	35
Figura 8.	Fotografías áreas de los años de 1965, 1974, 1986, 1995 y 2005	36
Figura 9.	Ubicación de las zonas rellenadas según los participantes del primer taller del 28 de abril del 2018	38
Figura 10.	Ubicación de las zonas de disposición de residuos (izquierda) y de las zonas rellenadas (derecha) según los participantes del segundo taller realizado el 30 de marzo del 2019	40
Figura 11.	Momentos importantes en la historia de Sibaté y en la creación de las zonas rellenadas contaminadas con asbesto	41
Figura 12.	Campañas de muestreo ABS	43
Fotografía 1.	Panorámica del municipio de Sibaté y el embalse del Muña	8

Tabla 1.	Características de los casos de MPM diagnosticados en Sibaté entre los años 2008 y 2017	22
Tabla 2.	Incidencia de mesotelioma estandarizada por edad en ciudades, regiones y países seleccionados del mundo	24
Tabla 3.	Sitios muestreados el 14 de septiembre del 2017 y resultados de las muestras	29
Tabla 4.	Muestras de suelo tomadas en octubre del 2018 en las excavaciones para cambiar las tuberías	32

Prólogo

El proyecto de investigación que describimos en este libro inició en enero del 2015, como respuesta a una serie de denuncias que habitantes del municipio de Sibaté, Cundinamarca, estaban haciendo en medios de comunicación sobre lo que ellos percibían era un número muy elevado de personas diagnosticadas con enfermedades que podían ser causadas por la exposición al asbesto. El grupo de investigadores que presenta este trabajo decidió estudiar en más detalle estas denuncias y, después de varios años de trabajo, hemos concluido que las denuncias de los habitantes están soportadas en la evidencia, tal como se describe en esta publicación.

En la introducción de este libro se explica qué es el asbesto, el uso histórico que se le ha dado al material y el peligro que representa para la salud de las personas expuestas; además, se hace un breve recuento de la historia del asbesto en el mundo y en Colombia. En el capítulo “Desarrollo de la investigación” se explican las herramientas, los protocolos y los procedimientos que se utilizaron para investigar el impacto que el asbesto pudo haber tenido en la salud de los habitantes de Sibaté, así como para entender los eventos históricos de contaminación con asbesto que ocurrieron en el municipio. En los “Hallazgos del estudio” se presentan los preocupantes resultados de la incidencia excesiva de enfermedades causadas por el asbesto en Sibaté, en particular el mesotelioma, al igual que la historia y las características de las zonas contaminadas con asbesto

localizadas en el casco urbano del municipio que se descubrieron en el marco de esta investigación. El libro finaliza con unas conclusiones y recomendaciones sobre la problemática del asbesto en Sibaté y algunas estrategias que se podrían implementar para enfrentarla y proteger a los habitantes del municipio.

En el marco de esta investigación se publicaron, entre el 2019 y el 2020, tres artículos científicos en una revista internacional indexada con revisión de pares, en los que se puede consultar información más detallada de las investigaciones que podrían ser del interés de los lectores, incluyendo a científicos expertos en el tema.

En el 2021 el estudio que se presenta en este libro recibió una Mención de Honor de la Fundación Alejandro Ángel Escobar en la categoría de Ciencias, Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible Camila Botero Restrepo.

Agradecimientos

Agradecemos el compromiso y la contribución de los estudiantes del Programa de Ingeniería Ambiental de la Universidad de los Andes, quienes hicieron parte de las distintas etapas del proyecto, que incluyen la elaboración, la validación y el diligenciamiento de las encuestas, el desarrollo de los talleres participativos y la obtención de los diagnósticos médicos. Los estudiantes son Lorena Melo, Natalia Gómez, Andrea Marú, David Ospina, Giovanni Castellanos, Juliana Pineda, Carlos Andrés Girón, Oscar Galindo, Ana María Barbosa Gómez, Juan Sebastián Barragán Jerónimo, Mariana Cuartas, María Margarita González Guerrero, Joseph Esteban Herrera Ruiz, Carolina López Gómez, Laura Rubio Velandia, Geraldine Suárez Rodríguez, Catalina Valencia Benítez, Fabio Andrés Vanegas, Lina Marcela Valencia Becerra, Juliana Diazgranados Vives, Laura Camila Bernal González, Camilo Andrés Cáceres Tocora, Miguel Alfonso Feijóo García, Oscar Alejandro Guzmán Grimaldo, Juan Camilo León Avendaño, Tania Daniela Martínez Roa, Christian Enrique Rincón Buitrago, Angie Daniela Ruiz Morales, Claraestela Torres Rivero, María Camila Guerrero, Vanessa Mesa, María Paula Rincón, Daniel Gómez, Alexandra García Vega, Nicolás Navarro Acuña, María Alejandra Caro, Manuela Ortega, Danna Lucía Montes, Daniela Rojas, Valentina Ortiz, Sebastián Ortiz, María Fernanda Chávez, Natalia Giraldo, Paola Cantero, Julián Ríos, María Paula León, Felipe Soler y Karol Vanessa Arias Cruz (q. e. p. d.). Sin ustedes esta investigación no se habría podido

desarrollar. Agradecemos también a Silvia Reyes por el diseño de algunas de las figuras de este libro.

Agradecemos a la Secretaría de Salud de Sibaté por permitir el acceso a los sitios en los que se realizaron las campañas de muestreo, así como a Sandra Córdoba, rectora de la Escuela Pública de Sibaté, por permitir el acceso a las instalaciones.

Agradecemos el apoyo financiero para el desarrollo de esta investigación de la Universidad de los Andes, del Instituto de Investigación para el Desarrollo (Francia), de la Agencia Nacional de Investigación Francesa (programa ERA-Sed - ANR-18-CE03-0001-01) y de Colciencias (Convocatoria 784, 2017, para posdoctorados colombianos que hayan sido estudiantes doctorales becarios de Colombia, Contrato FP44842-124-18).

Finalmente, agradecemos a los habitantes de Sibaté por su participación y valiosos aportes en el desarrollo de esta investigación. Ustedes nos alertaron de lo que estaba pasando y esperamos que este trabajo contribuya a que en un futuro muy cercano se dé una intervención del Estado que los proteja de manera adecuada de la amenaza que está presente en su municipio.

Introducción

Asbesto es un término genérico que hace referencia a seis tipos de minerales fibrosos de origen natural (Virta, 2006; IARC, 2012). En estricto sentido el término asbesto, más que una definición mineralógica, es una designación comercial para un grupo de minerales que tienen características físico-químicas muy útiles que incluyen una alta resistencia a la tensión, flexibilidad, resistencia a la degradación física y química, alta resistencia eléctrica y la posibilidad de incorporarlos en tejidos, por lo que han sido utilizados en más de tres mil aplicaciones industriales o productos comerciales (Virta, 2006). El asbesto se clasifica en dos variedades: los anfíboles y las serpentinas. Las serpentinas incluyen un único tipo de asbesto denominado crisotilo, mientras que los anfíboles incluyen asbesto de los tipos crocidolita, amosita, antofilita, tremolita y actinolita (Virta, 2006; IARC, 2012). Desde 1986 el uso de la crocidolita fue restringido a nivel global en virtud de acuerdos internacionales. En la actualidad el tipo de asbesto más usado es el crisotilo, especialmente para fabricar materiales de fibrocemento para el sector de la construcción y, en más baja proporción, en la manufactura de productos de fricción, de textiles y de otras aplicaciones menores (OMS, 2015). Cabe aclarar que los productos de fricción que contienen asbesto se utilizan en los sistemas de freno y de transmisión de vehículos y de maquinaria.

El registro más antiguo que se tiene del uso del asbesto es del año 4000 a. C., en unos utensilios de cocina de cerámica de arcilla fortalecida con asbesto del

tipo antofilita que fueron descubiertos en la región de Savo, Finlandia (Bianchi y Bianchi, 2015). También hay registros del uso del asbesto en el Imperio romano y hay evidencia de que, durante la Edad Media, el asbesto fue utilizado en Asia Central y Europa (Bianchi y Bianchi, 2015).

La industria moderna del asbesto, entendida como una producción tecnificada a gran escala, tiene sus orígenes en Italia a principios del siglo XIX con una fábrica que producía telas, cuerdas y portadas de libros que contenían asbesto (Virta, 2006). Durante ese siglo la industria del asbesto siguió creciendo liderada por empresas italianas y en ese periodo se identificaron nuevos usos del material (Virta, 2006). A finales del siglo XIX, el descubrimiento y la explotación de grandes depósitos minerales de asbesto en Canadá, Rusia y Sudáfrica garantizó el suministro del material para una demanda mundial que iba en aumento (Virta, 2006).

En la primera mitad del siglo XX, la industria del asbesto tuvo un crecimiento muy importante porque, a las propiedades físico-químicas del mineral, se sumaron desarrollos tecnológicos que permitieron la producción a gran escala de materiales de construcción, tuberías de asbesto-cemento y productos de fricción (Virta, 2006). En 1958, el asbesto se usaba en miles de aplicaciones industriales y era considerado un “material mágico” que prestaba un gran “servicio a la humanidad” (Virta, 2006). El uso del asbesto se incrementó de manera drástica después de la Segunda Guerra Mundial, llegando a un pico histórico en 1980 cuando 25 países del mundo produjeron 4,8 millones de toneladas de asbesto y 85 países manufacturaban productos con asbesto (Virta, 2006). En ese siglo, y de forma paralela al incremento en su uso, empezó a surgir evidencia sobre el peligro que el asbesto representaba para la salud humana (Bartrip, 2004).

Fue así como el trabajo de los investigadores William Cooke y Thomas Olivier, del Reino Unido, sumados al esfuerzo del inspector médico Edward Merewether, derivaron en que el Gobierno británico expidiera las Regulaciones de la Industria del Asbesto en 1931 (Bartrip, 2004; Murray, 1990). De hecho, el término *asbestosis* fue acuñado, en 1927, por William Cooke, quien también describió unos “cuerpos curiosos” asociados con la enfermedad a los que llamó “cuerpos de asbestosis” (Murray, 1990). Durante muchas décadas se pensó que las regulaciones de 1931 habían resuelto el problema del asbesto en las fábricas británicas (Bartrip, 2004). En 1955, con base en los resultados de unas investigaciones lideradas por Edward Merewether unos años antes, Richard Doll estableció la existencia de una relación causal entre la exposición al asbesto y el desarrollo de cáncer de pulmón (Murray, 1990). En la década de 1960 surgió nueva evidencia de la peligrasidad del asbesto en Sudáfrica, Gran Bretaña y

Estados Unidos, e investigadores muy destacados, como Richard Doll, Irving Selikoff y J. C. Wagner, lograron establecer que trabajadores de distintas ocupaciones en las que había exposición al asbesto estaban en riesgo de desarrollar diferentes tipos de cáncer, incluyendo el mesotelioma y el cáncer de pulmón (Bartrip, 2004; Murray, 1990). Esto atrajo la atención de los medios de comunicación a nivel mundial y en la década de 1960 se generó un consenso sobre la peligrosidad del asbesto (Murray, 1990).

Como respuesta a una evidencia científica cada vez más contundente sobre los efectos adversos del asbesto, en la década de 1970 se empezó un proceso paulatino de prohibición del asbesto en distintos países, inicialmente para aplicaciones específicas y luego con prohibiciones totales. El primer país en prohibir un uso específico del asbesto, en 1972, fue Dinamarca en productos para aislamientos (Allen *et al.*, 2017). Suecia en 1986 fue el primer país del mundo en prohibir el uso de todos los tipos de asbesto (Allen *et al.*, 2017). Chile y Argentina en el 2001, Uruguay en el 2002 y Honduras en el 2004 fueron los primeros países de América Latina en prohibir el uso del asbesto (IBAS, 2019). A junio del 2023, el uso del asbesto había sido prohibido en 69 países del mundo (IBAS, 2023), incluyendo a Colombia, que prohibió todos sus usos por medio de la Ley 1968 del 2019, que entró en vigencia el 1.º de enero del 2021.

Desde hace muchos años el asbesto es clasificado por la Agencia Internacional de Investigación en Cáncer como cancerígeno para los seres humanos (IARC, 2012). El asbesto causa mesotelioma (especialmente de la pleura pulmonar y del peritoneo de la cavidad abdominal) y cáncer de pulmón, laringe y ovario (IARC, 2012). También causa enfermedades no neoplásicas como la asbestosis (IARC, 2012).

En Suramérica, los principales consumidores de asbesto en la primera mitad del siglo xx fueron Argentina, Brasil, Chile, Perú, Uruguay y Venezuela, pero solo hasta la década de 1960 la industria del asbesto de la región empezó a posicionarse a nivel mundial (Virta, 2006). En la década de 1970, los países suramericanos con la industria del asbesto más fuerte eran Argentina, Brasil y Colombia (Virta, 2006). En 1980, Brasil era el principal usuario de asbesto de la región, con 267 000 toneladas anuales, seguido por Colombia, con 27 100 toneladas, Argentina, con 21 400 toneladas, y Venezuela, con 9100 toneladas (Virta, 2006). Es decir, Colombia ha estado entre los países de la región que históricamente han encabezado la producción y el consumo de asbesto.

La industria del asbesto empezó operaciones en Colombia en 1942 con una planta de asbesto-cemento en el municipio de Sibaté, Cundinamarca, a la que se

sumaron dos plantas de asbesto-cemento en 1944, una en Barranquilla y otra en Cali, como respuesta al éxito que había tenido la primera planta en el mercado local (Eternit, 2021). En 1960 se instaló en Bogotá la primera planta del país que manufacturaba productos de fricción para el sector automotriz (Incolbest, 2021) y posteriormente se establecieron dos plantas de asbesto-cemento en Manizales en 1967 y 1981 (ETEX, 2021; TOPTEC, 2021). También existió una mina de asbesto crisotilo ubicada en Campamento, Antioquia, que empezó la explotación del mineral en 1980 (BRICOLSA, 2017; Lysaniuk *et al.*, 2021).

La planta de asbesto-cemento de Sibaté fue la más grande de Colombia. Los primeros productos que manufacturó fueron placas onduladas (Eternit, 2021). Por medio de entrevistas realizadas a trabajadores de la planta en el marco de esta investigación, se pudo establecer que en la planta de Sibaté también se produjeron tuberías y tanques de agua potable de asbesto-cemento.

Sibaté está localizado a 25 km de Bogotá, hacia el suroccidente (Ramos-Bonilla *et al.*, 2019), y es un municipio relativamente joven que logró su autonomía política en 1967, ya que antes hacía parte del municipio de Soacha (Sibaté, 2021). De acuerdo con las proyecciones del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) la población de Sibaté en el 2020 era de aproximadamente 38 000 habitantes (DANE 2018). La planta de asbesto-cemento de este municipio está ubicada a 5 km al norte del casco urbano (véase la figura 1). El embalse del Muña está ubicado dentro de la jurisdicción del municipio y separa el casco urbano de Sibaté de la planta de asbesto-cemento (figura 1). Como se explica más adelante, el embalse del Muña ha sido un factor determinante en la creación de extensas zonas contaminadas con asbesto en el casco urbano de Sibaté (Ramos-Bonilla *et al.*, 2019). Los primeros indicios del proyecto de construcción del embalse se remontan a principios de la década de 1930, mientras que las obras propiamente dichas se iniciaron unos diez años más tarde (Rodríguez Gómez, 1999). El embalse terminó de construirse a mediados de la década de 1940. Rápidamente se estableció en la zona un club náutico (Soacha Ilustrada, 2013), se desarrolló la pesca deportiva en el embalse y durante la década de 1950 Sibaté se convirtió en un importante centro de actividades recreativas y en un polo de desarrollo económico (Llistar y Roa, 2005).

La situación cambió drásticamente durante la década siguiente. En 1967, la Empresa de Energía de Bogotá (EEB) integró el río Bogotá en el sistema de generación de energía y, para este fin, desvió hacia el embalse del Muña una parte del caudal del río que, como sigue ocurriendo en la actualidad, tenía altos niveles de contaminación de metales y materia orgánica. Esto contaminó el agua

del embalse, lo que derivó en que el club náutico se trasladara a otro cuerpo de agua (Soacha Ilustrada, 2013) y la vida lacustre desapareciera. Los fuertes olores comenzaron a extenderse por la zona y como una medida de control de la contaminación se introdujo en el embalse la planta *Eichhornia crassipes* —llamada popularmente *buchón*— (Bayona, 2007). Esta planta es un hábitat perfecto para los mosquitos, así que, además de los malos olores del agua, se sumó un incremento acelerado de la población de estos insectos (Bayona, 2007). Es decir, la contaminación del embalse del Muña afectó gravemente la calidad de vida de los habitantes de la región.

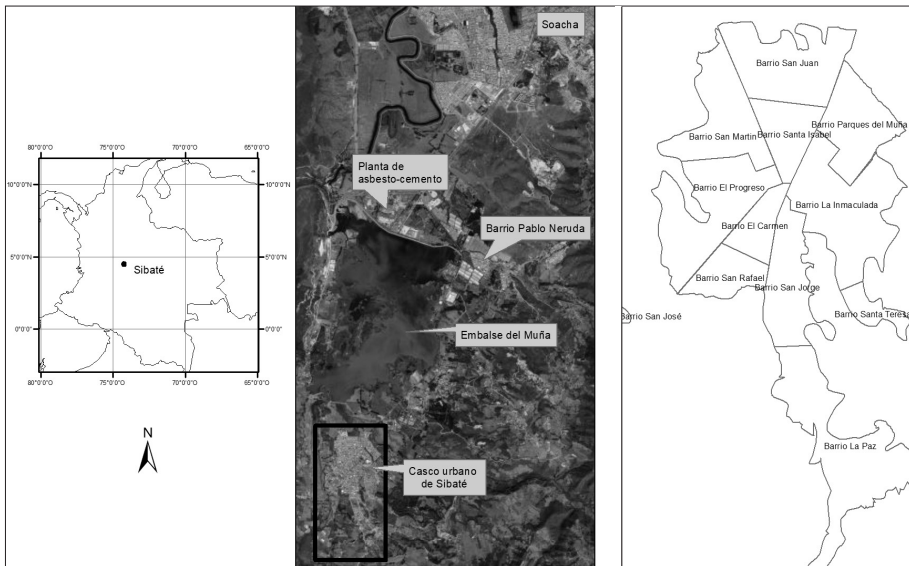


FIGURA 1. Ubicación de Sibaté y división del territorio

En el mapa de la izquierda se ve la ubicación de Sibaté en Colombia. En la imagen satelital del centro se aprecia la ubicación del casco urbano de Sibaté, el embalse del Muña y de la planta de asbesto-cemento. En el mapa de la derecha se muestra el casco urbano de Sibaté con sus barrios.

Fuente: Digital Globe (2016).

Como se explicó, esta investigación se originó por las denuncias de algunos habitantes de Sibaté sobre lo que ellos percibían era un número elevado de personas diagnosticadas con enfermedades que pudieron ser causadas por la exposición a este material. Algunos habitantes también reportaron la existencia de zonas del municipio contaminadas con asbesto como consecuencia de

la disposición inadecuada de residuos. El presente libro integra los resultados de tres publicaciones en revistas científicas indexadas en las cuales se describen los posibles impactos que la exposición al asbesto ha tenido en la salud de la población de Sibaté, se reconstruyó la historia y se caracterizaron unos eventos de contaminación de gran dimensión que resultaron en la creación de extensos sitios contaminados con asbesto en la zona urbana del municipio, eventos que a su vez podrían haber sido una fuente importante de exposición de la población al asbesto. También se presentan los resultados de una campaña de muestreo que se hizo para determinar el riesgo de exposición al asbesto cuando se hacen actividades en la superficie de los sitios contaminados con este mineral.

En la fotografía 1, tomada desde el mirador de la Virgen en Sibaté, se aprecian en la parte inferior las edificaciones de la zona norte del casco urbano del municipio, el embalse del Muña, y al otro lado del embalse la zona industrial en la que está ubicada la planta de asbesto-cemento.



FOTOGRAFÍA 1. Panorámica del municipio de Sibaté y el embalse del Muña

Fuente: tomada por el equipo de investigadores el 30 de agosto del 2019, en dirección norte desde el mirador de la Virgen.

Los tres artículos publicados en el marco de esta investigación son:

- Lysaniuk, B., Cely-García, M. F., Mazzeo, A., Marsili, D., Pasetto, R., Comba, P. y Ramos-Bonilla, J. P. (2020). Where are the landfilled zones? Use of historical geographic information and local spatial knowledge to determine the location of underground asbestos contamination in Sibaté (Colombia). *Environmental Research*, 191, 110182. doi: 10.1016/j.envres.2020.110182.
- Cely-García, M. F., Lysaniuk, B., Pasetto, R., Ramos-Bonilla, J. P. (2020). The challenges of applying an Activity-Based Sampling methodology to estimate the cancer risk associated with asbestos contaminated landfilled zones. *Environmental Research*, 181, 108893. doi: 10.1016/j.envres.2019.108893.
- Ramos-Bonilla, J. P., Cely-García, M. F., Giraldo, M., Comba, P., Terracini, B., Pasetto, R., Marsili, D., Ascoli, V., Lysaniuk, B., Rodríguez, M. C., Mazzeo, A., López Panqueva, R. P., Baldión, M., Cañón, D., García-Herreros, L. G., Pinzón, B., Hernández, L. J. y Silva, Y. A. (2019). An asbestos contaminated town in the vicinity of an asbestos-cement facility: The case study of Sibaté, Colombia. *Environmental Research*, 176, 108464. doi:10.1016/j.envres.2019.04.031.

Desarrollo de la investigación

¿Qué se hizo para evaluar la situación de salud en el municipio?

Para verificar si la cantidad de casos diagnosticados con enfermedades que pudieron ser causadas por la exposición al asbesto en Sibaté era inusual y elevado, inicialmente se consultó la base de datos de morbilidad y mortalidad del país: el Sistema Integrado de Información de la Protección Social (SISPRO), administrado por el Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia (Minsalud, 2019). SISPRO permite hacer consultas del número de personas atendidas por cada enfermedad del sistema de Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE-10) a nivel municipal. En la consulta se pueden integrar variables como el año de diagnóstico, la edad y el género. Como se explicará en la sección de hallazgos, en SISPRO no se encontró registro de los casos de mesotelioma que se habían identificado preliminarmente en el desarrollo de este estudio, por lo cual fue necesario implementar una estrategia distinta para evaluar si existía un número inusual de enfermos y fallecidos en el municipio. La alternativa fue buscar los casos directamente en la población, lo que fue más dispendioso y complejo. Para esto y con el aval del Comité de Ética de la Universidad de los Andes, se diseñó una encuesta de salud y socioeconómica que se aplicó puerta a puerta en cuatro

barrios de Sibaté entre junio del 2015 y junio del 2016. Quince estudiantes del programa de Ingeniería Ambiental de la Universidad de los Andes, debidamente capacitados, hicieron las entrevistas a nivel hogar, recorriendo todas las calles de los barrios El Progreso, San Rafael, El Carmen y San Martín (figura 1, mapa de la derecha), que podían estar contaminados con asbesto de acuerdo con lo que reportaron habitantes del municipio en entrevistas preliminares. Los cuatro barrios en los que se diligenciaron las encuestas representan el 77 % del área identificada preliminarmente como potencialmente contaminada, y el 37 % del área urbana de Sibaté. Este último porcentaje se calcula sin incluir el barrio Pablo Neruda, el cual, a pesar de estar ubicado en Sibaté, no hace parte del casco urbano del municipio (Ramos-Bonilla *et al.*, 2019). Un adulto de cada casa respondió la encuesta en nombre de todos los residentes de ese hogar, después de que la persona aceptara participar en el estudio de manera voluntaria y de que firmara el consentimiento informado aprobado por el Comité de Ética de la Universidad de los Andes. Cuando se identificaba que en una casa había una persona diagnosticada con una enfermedad que podía ser causada por la exposición al asbesto, solo la persona diagnosticada, un familiar en primer o segundo grado de consanguinidad o la pareja podían contestar la encuesta. Con estas se recolectó información del paciente, historia ocupacional de la persona diagnosticada, información de las personas que vivían en la residencia, actividades del paciente que podían representar un riesgo de exposición al asbesto e información de salud del paciente (Ramos-Bonilla *et al.*, 2019).

Debido a la dimensión del problema, y a que la exposición al asbesto y el desarrollo del mesotelioma están estrechamente relacionados (Liu *et al.*, 2017), a partir de ese momento la investigación se enfocó en esta enfermedad. Dado que los casos de mesotelioma eran autorreportados, y esto puede inducir a errores en su identificación, se hizo un proceso de validación por medio de una revisión de las historias clínicas y los diagnósticos médicos, incluyendo los reportes de histopatología, en aquellos casos en los cuales se pudo obtener esta información (Ramos-Bonilla *et al.*, 2019).

Para la validación de los casos de mesotelioma, un panel de médicos de la Fundación Santa Fe de Bogotá y de la Universidad de Roma La Sapienza —conformado por cuatro patólogas, un cirujano torácico y una radióloga— revisó los diagnósticos utilizando como guía los criterios del Registro de Mesotelioma de Italia (Mesothelioma National Register, 2002), reconocido como uno de los registros más importantes del mundo. Con base en estos criterios los casos de mesotelioma se clasifican de acuerdo con la confiabilidad del diagnóstico en una

de cinco categorías, que en orden descendente son *certero, probable, posible, por definir y no mesotelioma* (Mesothelioma National Register, 2002).

Adicionalmente se estableció cuáles podrían haber sido las fuentes de exposición al asbesto de cada caso, para lo cual también se utilizaron los criterios del Registro de Mesotelioma de Italia (Mesothelioma National Register, 2002). Este registro describe diez clases de exposición: *exposición profesional certera, exposición profesional probable, exposición profesional posible, exposición residencial, exposición ambiental, exposición no profesional, exposición poco probable, exposición desconocida, exposición en investigación y exposición sin clasificación* (Mesothelioma National Register, 2002).

¿Cómo se identificaron y caracterizaron los sitios contaminados con asbesto?

Para identificar y localizar los sitios potencialmente contaminados con asbesto que habían sido reportados por habitantes del municipio, se utilizaron múltiples fuentes de información incluyendo mapas topográficos, fotografías aéreas, imágenes satelitales y la memoria colectiva de habitantes de Sibaté, las cuales fueron analizadas con sistemas de información geográfica (SIG) (ARGIS 10.4.1. ESRI). También se utilizó un modelo digital de elevación (DEM) (Shuttle Radar Topography Mission [SRTM], 1 Arc-Second, USGS) para identificar zonas en las que en el pasado existieron depresiones topográficas en la altura del terrero que podrían haber sido rellenadas. Los cambios en el uso de suelo se evaluaron analizando mapas de distintos años que iban desde la década de 1950 hasta la década de 1990, los cuales se obtuvieron en versión digital del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Para la identificación de las fotografías aéreas que podrían ser útiles en la investigación, primero se determinó el área de interés (L10) en una interfaz del IGAC (<https://geoportal.igac.gov.co/contenido/indice-lineas-de-vuelos-aerofotografias-blanco-y-negro>). A partir de la zona L10 se identificaron los mapas de las líneas de vuelo que pasaron por Sibaté en ventanas de tiempo de 10 años y de esta manera se seleccionaron las fotografías aéreas de la zona de los años 1965, 1974, 1986, 1995 y 2005. Las fotografías aéreas se georreferenciaron (Magna-Sirgas, Bogotá, zona Colombia) con un *software* SIG (Arcgis 10.4 - ESRI), lo que permitió superponer las fotografías aéreas sobre imágenes satelitales actuales (Digital Globe, 2016) y así establecer la evolución de la zona urbana de Sibaté y

los cambios en el uso del suelo en sectores específicos del municipio. Con base en este análisis se identificaron las zonas del municipio que podrían haber sido rellenadas con residuos. En estas zonas se seleccionaron diez puntos para hacer una campaña de muestreo de suelo para confirmar la existencia de los rellenos y, en caso de encontrarlos, tratar de entender su composición y características.

El muestreo de suelos se realizó el 14 de septiembre del 2017, siguiendo los protocolos estandarizados descritos en el método ASTM D7521-16 (ASTM, 2016) y en las Guías para el Muestreo de Suelo de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) (EPA, 1996). Se tomaron muestras en los cuatro puntos identificados en la figura 2(a). En la figura 2(a) también se muestran unas zonas *posible y probablemente* rellenadas, designación que, como se explica en la sección de “Hallazgos”, refleja la incertidumbre que se tiene en la evidencia para delimitar estas zonas (Ramos-Bonilla *et al.*, 2019). Las muestras de suelo fueron enviadas a Estados Unidos para que fueran analizadas por el laboratorio Forensic Analytical (Hayward, CA, USA), acreditado en el análisis de asbesto por la American Industrial Hygiene Association (AIHA) en el Programa Nacional de Acreditación Voluntaria de Laboratorios (NVLAP, por sus siglas en inglés). Las muestras se analizaron mediante microscopía de luz polarizada (PLM) y se utilizaron los métodos EPA 600/M4-82-020 y 600/R-93-116 (EPA, 1993).

En el marco del estudio se adelantaron dos talleres participativos con habitantes de Sibaté, con el fin de documentar la memoria colectiva de estas personas sobre la historia y ubicación de las zonas rellenadas con residuos de asbesto en el municipio. Los talleres se desarrollaron adaptando metodologías participativas (Rubio *et al.*, 2000; Candelo *et al.*, 2003), el 28 de abril del 2018 y el 30 de marzo del 2019. Para ubicar las zonas de Sibaté que los participantes de los talleres consideraban habían sido rellenadas, se distribuyeron mapas que solo tenían el contorno del casco urbano y de los barrios para que en ellos dibujaran estas zonas. Los mapas se integraron en uno solo que presentaba la frecuencia con la que las zonas rellenadas fueron señaladas por los participantes, para lo cual se utilizó la técnica conocida coloquialmente como “espaguetti y albóndigas” (Honeycutt, 2012).

Para determinar el riesgo de exposición al asbesto al hacer actividades en la superficie de las zonas rellenadas, se adaptó y aplicó la metodología de muestreo basada en la actividad (ABS, por sus siglas en inglés), desarrollada por la EPA. La metodología ABS tiene como objetivo cuantificar la concentración de fibras de asbesto en el aire en la superficie de zonas contaminadas con asbesto de manera natural (*naturally occurring asbestos* [NOA]) o contaminadas por actividades

humanas, y permite estimar el riesgo de exposición al asbesto y el riesgo excesivo de desarrollar cáncer como resultado de dicha exposición (EPA, 2019). Hay dos tipos de ABS: el ABS *genérico* en el que los investigadores perturban con un rastrillo áreas de 9 m² y el ABS *específico* en el que se realizan las actividades cotidianas que ocurren o podrían ocurrir en un lugar (EPA, 2007, 2008). En ambos tipos de ABS los investigadores realizan actividades que perturban el suelo en la superficie de las zonas contaminadas con asbesto y al mismo tiempo se toman muestras de aire personales, para lo cual los investigadores portan en su cuerpo los dispositivos de muestreo. Hasta donde tenemos conocimiento, esta es la primera vez que esta metodología se aplica en Colombia y en Latinoamérica. Hay ejemplos de su aplicación en Sumas Mountain, Washington, Estados Unidos, (Wroble, 2010; Wroble *et al.*, 2017) y Libby, Montana, Estados Unidos (EPA, 2010a; 2010b; Ryan *et al.*, 2015).

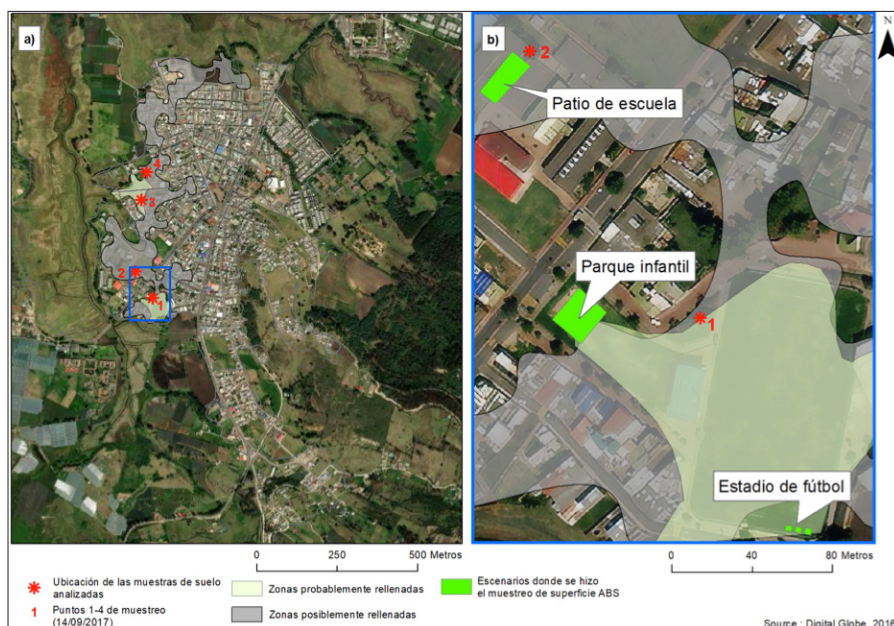


FIGURA 2. Muestreo ABS

En el mapa (a) se muestra en un recuadro azul la zona en la que se hizo el muestreo ABS, señalando las zonas *probable* y *posiblemente* rellenadas que se explican en la sección de “Hallazgos” y los cuatro sitios en los que se tomaron muestras de suelo (puntos 1 a 4). En la fotografía aérea (b) se presentan los escenarios donde se hizo el muestreo ABS, las zonas *probable* y *posiblemente* rellenadas y dos puntos de muestreo de suelo (puntos 1 y 2).

Fuente: Digital Globe (2016).

La selección de los escenarios en Sibaté en los cuales se aplicó la metodología ABS se basó en dos criterios: (1) estar localizados sobre o cerca a zonas potencialmente contaminadas con asbesto (lo anterior debido a que para el momento de la investigación no se tenía claridad de la extensión ni de los límites de las zonas rellenas). (2) Priorizar los escenarios usados por población infantil u otra población vulnerable (Cely-García *et al.*, 2020). Teniendo en cuenta lo anterior, el 23 de noviembre del 2018 se realizó un ABS *genérico* en el estadio de fútbol del municipio y el 11 de diciembre del 2018 se hicieron dos ABS *específicos*, uno en un parque infantil localizado cerca al estadio y el otro en un patio de juegos dentro de una escuela pública del municipio (Cely-García *et al.*, 2020). En los ABS *específicos* los investigadores simularon, estando sentados, las actividades que hacen los niños cuando juegan en el suelo. En la figura 2(b) se puede observar la localización de las zonas en las que se hizo el ABS *genérico* y los dos ABS *específicos*. Se señala igualmente los sitios donde se tomaron muestras de suelo y la localización de las zonas de relleno (Cely-García *et al.*, 2020).

Para la toma de las muestras personales se utilizaron bombas de succión de aire (AIRCheck XR5000, SKC, Eighty Four, PA, USA) y filtros que recogen la muestra (SKC Preloaded cassette, SKC). Con los mismos equipos se tomaron muestras de área ubicando los filtros a una altura respiratoria de 1,5 m. Tanto las muestras personales como las de área se tomaron con un rango de flujos entre ~2,0 y ~2,9 litros por minuto dependiendo de las necesidades del muestreo, flujo que fue calibrado con un equipo especializado (MesaLabs Defender 520, Lakewood, CO, USA) (Cely-García *et al.*, 2020). También se tomó una muestra blanco para cada zona de muestreo para control de calidad y se midió la temperatura y humedad relativa del ambiente utilizando un dispositivo especial para este fin (HOBO U10-003 Data Logger, ONSET, Bourne, MA, USA) (Cely-García *et al.*, 2020).

Las muestras de aire recolectadas (personales, de área y blancos) fueron analizadas en el laboratorio Forensic Analytical (Hayward, CA, USA) que, como se mencionó, está acreditado en los Estados Unidos para el análisis de asbesto. Las muestras se analizaron por microscopía de contraste de fase (PCM, por sus siglas en inglés), siguiendo el método NIOSH 7400 del Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional de los Estados Unidos, el cual determina la concentración de fibras en el filtro sin diferenciar si son de asbesto o de otro tipo (NIOSH 1994). Para identificar y contar directamente las fibras de asbesto en el filtro se utiliza la microscopía de transmisión de electrones (TEM, por sus siglas en inglés). Para el caso del muestreo ABS se recomiendan dos métodos dependiendo de las características de la muestra: el método directo ISO 10312

(ISO, 1995) y en caso de que en el filtro haya colmatación de partículas o no se alcancen los límites de sensibilidad analítica, se recomienda el método indirecto ISO 13794, el cual requiere la incineración del filtro (ISO, 1999). Por medio de ambos métodos se puede determinar la concentración de asbesto PCM-equivalente de cada escenario, con la cual se calcula el posible riesgo a la salud resultante de realizar actividades en la zona evaluada (EPA, 2007; 2008; Wroble, 2010). En todos los muestreos de campo se siguieron protocolos de seguridad y de protección personal, incluyendo el uso de métodos húmedos para evitar la posible dispersión en el aire de las fibras de asbesto al hacer los muestreos de suelo y durante la manipulación de las muestras. Todas las personas que participaron en el muestreo de suelo y en los muestreos ABS utilizaron equipos de protección personal y respiratoria recomendados para prevenir la exposición al asbesto. Los materiales de desecho de los muestreos fueron etiquetados como residuos peligrosos y dispuestos de forma adecuada.

Hallazgos del estudio

Impactos del asbesto en la salud de los habitantes de Sibaté

Con la valiosa contribución de quince estudiantes del programa de Ingeniería Ambiental de la Universidad de los Andes, entre junio del 2015 y junio del 2016 se diligenciaron 355 encuestas puerta a puerta en los barrios El Progreso, San Rafael, El Carmen y San Martín (Ramos-Bonilla *et al.*, 2019).

Las encuestas permitieron identificar un número importante de casos autorreportados de enfermedades que pudieron ser causadas por la exposición al asbesto: veintinueve casos de mesotelioma, veintiséis casos de cáncer de pulmón, un caso de cáncer de laringe, tres casos de cáncer de ovario y siete casos de asbestosis (Ramos-Bonilla *et al.*, 2019). Al analizar en detalle los veintinueve casos de mesotelioma autorreportados, que como se señaló fue la enfermedad en la cual se enfocó la investigación, se identificó que cuatro personas no habían vivido en Sibaté y, de estos, dos habían trabajado en la planta de asbesto-cemento, uno había vivido con un trabajador de la planta de asbesto-cemento y el cuarto vivía en el municipio vecino de Soacha. Debido a que el estudio estaba delimitado a Sibaté, estos cuatro casos no se siguieron investigando y el estudio se concentró

en los veinticinco casos restantes (Ramos-Bonilla *et al.*, 2019). Para la validación de los casos se necesitaba la copia de los registros médicos de los pacientes, algo que es complejo de obtener y, aunque los requisitos para entregar esta información varían entre centros médicos, tienen en común que se debe presentar una autorización del paciente, o en caso de que la persona haya fallecido, de la pareja o de un familiar en primer o segundo grado de consanguinidad. Conseguir los documentos solicitados fue un proceso dispendioso que tomó mucho tiempo. En esta fase de la investigación el compromiso y trabajo de veintiséis estudiantes del programa de Ingeniería Ambiental de la Universidad de los Andes que colaboraron con el proyecto fue fundamental para lograr este objetivo. Finalmente fue posible obtener los registros médicos de diecisiete de los veinticinco casos de mesotelioma (Ramos-Bonilla *et al.*, 2019).

Para la validación de los diagnósticos, los médicos del panel, cada uno desde su especialidad, hicieron una clasificación de los casos de manera individual aplicando los criterios del Registro de Mesotelioma de Italia. Posteriormente los médicos de la Fundación Santa Fe se reunieron y, dándole mayor importancia al criterio patológico, llegaron por consenso a una clasificación de quince de los diecisiete casos como mesotelioma de pleura maligno (MPM) *certero*, uno como MPM *probable* y el restante como MPM *por definir* (Ramos-Bonilla *et al.*, 2019). Esta clasificación se comparó con la que fue realizada de forma independiente por la patóloga de La Sapienza en Roma, y hubo una coincidencia absoluta en los 15 MPM *certeros* y en el MPM *probable*. El caso restante fue clasificado por la patóloga italiana en alguna de las dos categorías *por definir* o *no mesotelioma* y, por consenso, el panel de médicos clasificó este caso como *no mesotelioma* (Ramos-Bonilla *et al.*, 2019).

Debido a que un análisis más profundo de los casos se iba a basar en la información de las encuestas, y con el fin de reducir el *sesgo de memoria*, el análisis de los casos se enfocó en aquellos que habían sido diagnosticados en los diez años previos (años 2007-2017, siendo diagnosticado el primer caso en el 2008). Un *sesgo de memoria* o *de recuerdo* se presenta cuando existe una diferencia “en el recuerdo o en el reporte de la información sobre exposición a factores de riesgo o protección entre los sujetos casos y los controles” (Restrepo, 2004, p. 330). Una forma de abordarlo es reducir el tiempo que ha transcurrido desde que ocurrieron los acontecimientos sobre los cuales se está indagando. Esto excluyó cuatro de los diecisiete casos de MPM, porque estos casos habían sido diagnosticados antes del 2007 (Ramos-Bonilla *et al.*, 2019). Los cuatro casos excluidos fueron dos casos de MPM *certero*, un hombre diagnosticado en el 2002 a los 45 años de edad y otro

hombre diagnosticado a los 53 años de edad en el 2006. El tercer caso excluido fue el MPM *probable*, una mujer diagnosticada en 1997 a los 34 años de edad, y el último caso excluido fue el *no mesotelioma*, que correspondía a una mujer que había sido diagnosticada en el 2002 (Ramos-Bonilla *et al.*, 2019). Con los trece casos restantes se hizo una caracterización detallada, la cual se presenta en la tabla 1, en la que también se muestra la clase de exposición al asbesto que podría haber sufrido cada caso, la cual se estableció siguiendo los criterios del Registro de Mesotelioma de Italia utilizando la información recolectada en las encuestas (Ramos-Bonilla *et al.*, 2019).

Hay varios aspectos preocupantes de los resultados presentados en la tabla 1. En primera instancia, la edad temprana al momento de diagnóstico de las personas. El mesotelioma es una enfermedad con una latencia muy extensa que puede oscilar entre 30 y 40 años (Liu *et al.*, 2017) y por eso la corta edad de los casos puede sugerir que la exposición ocurrió durante su infancia o adolescencia. El caso de menor edad al momento del diagnóstico tenía 38 años y el de mayor edad tenía 58 años. Otra característica importante para señalar son los posibles escenarios de exposición al asbesto. Solo un caso tuvo una *exposición profesional certera*, es decir, trabajó en la industria del asbesto, lo cual sugiere que en el municipio podría haber fuentes importantes de exposición al asbesto en ambientes exteriores, a nivel residencial o al realizar actividades en las cuales pudo haber una interacción con productos que contienen asbesto. Es también importante mencionar que por ser una enfermedad ocupacional de una industria que emplea mayoritariamente a hombres en las líneas de producción, el mesotelioma es una enfermedad que se diagnostica con menor frecuencia en mujeres. De los 13 casos de mesotelioma 4 eran mujeres y, como veremos más adelante, es un número muy elevado en comparación con los indicadores internacionales. Finalmente, 5 de los casos tenían parentesco sanguíneo y pertenecían a dos familias, lo que sugiere que núcleos familiares podrían haber sido expuestos a una misma fuente de asbesto. Los casos 4 y 13 eran hermanos, al igual que los casos 5, 8 y 10.

TABLA I. Características de los casos de MPM diagnosticados en Sibaté entre los años 2008 y 2017

Paciente	Clasificación ReNaM	Año de diagnóstico	Edad de diagnóstico	Género	Exposición	Nacido en Sibaté	Cantidad de años vividos en Sibaté (rango)
1	Certero	2008	44	Hombre	Residencial	No	41 (1969-2010)
2	Certero	2009	45	Mujer	No profesional	Sí	46 (1964-2010)
3	Certero	2010	42	Hombre	Residencial	Sí	48 (1968-2011)
4	Certero	2012	54	Hombre	Profesional certera	Sí	56 (1957-2013)
5	Certero	2012	41	Hombre	Residencial y no profesional	Sí	43 (1971-2014)
6	Certero	2013	52	Hombre	Residencial y ambiental	Sí	7 (1961-1968)
7	Certero	2013	44	Hombre	Ambiental	Sí	46 (1969-2015)
8	Certero	2014	47	Hombre	Residencial y no profesional	Sí	48 (1967-2015)
9	Certero	2014	38	Mujer	Ambiental	No	17 (1975-1992)
10	Certero	2016	58	Mujer	Residencial y no profesional	No	56 (1961-2017)
11	Certero	2016	48	Hombre	Ambiental	Sí	32 (1968-2000)
12	Certero	2016	52	Hombre	No clasificada	---	---
13	Certero	2016	51	Mujer	Residencial	Sí	54 (1964-2018)

Nota: la familia del caso 12 se retiró del estudio y por eso no se pudo obtener toda la información.

Fuente: adaptado de (Ramos-Bonilla *et al.*, 2019).

Para entender si la incidencia del mesotelioma en Sibaté era elevada, se calculó la tasa de incidencia estandarizada por edad que es una medida de morbilidad comúnmente reportada a nivel internacional. Para poder comparar la tasa de Sibaté con los indicadores internacionales, esta se calculó únicamente con las personas enfermas que vivían en el municipio al momento del diagnóstico. Los casos 6, 9, 11 y 12 (tabla 1) no cumplían con este criterio, por lo que no fueron incluidos en los estimativos de la tasa de incidencia. De esta manera, para el periodo de análisis (2007-2017), la tasa de incidencia de mesotelioma por género se calculó con nueve casos (seis hombres y tres mujeres) y fue de $3,1 \times 10^5$ *personas-año para hombres* y de $1,6 \times 10^5$ *personas-año para mujeres* (Ramos-Bonilla *et al.*, 2019). Estas tasas se compararon con las reportadas en el documento de la Agencia Internacional de Investigación en Cáncer, *Incidencia de cáncer en los cinco continentes vol. X* (Forman *et al.*, 2014), tal como se muestra en la tabla 2.

Como se puede observar en la tabla 2, las tasas de incidencia de mesotelioma en Sibaté para el periodo de estudio para ambos sexos están entre las más altas del mundo, por lo cual la evidencia sugiere que existe un clúster o conglomerado de mesotelioma en el municipio, lo que valida las denuncias de la población que fueron el motivo original de esta investigación. Un clúster o conglomerado se define como “una agregación inusual, real o percibida, de eventos de salud que se agrupan en el tiempo o en el espacio” (Idrovo, 2000). Es además importante reconocer que el número de casos de mesotelioma que hay actualmente en el municipio podría ser mucho más alto, por lo cual las tasas de incidencia calculadas pueden estar subestimadas.

TABLA 2. Incidencia de mesotelioma estandarizada por edad en ciudades, regiones y países seleccionados del mundo

Región	Ciudad o país	Hombres		Mujeres	
		Casos	Tasas estandarizadas por 100 000 por año	Casos	Tasas estandarizadas por 100 000 por año
Colombia	Sibaté¹	6	3,1	3	1,6
	Bucaramanga	4	0,2	2	0,1
	Cali	17	0,4	8	0,2
	Manizales	0	-	0	-
	Pasto	2	0,2	0	-
América del Sur	Argentina (4 ciudades)	1-27	0,6-0,9	0-19	0-0,5
	Brasil (6 ciudades)	1-39	0,0-0,2	0-22	0-0,2
	Ecuador (2 ciudades)	1-9	0,1-0,3	4	0,1-0,3
América del Norte	Canadá (país)	1860	1,4	388	0,3
	Canadá (Quebec)	589	1,9	152	0,4
Europa	Dinamarca (país)	416	1,8	82	0,3
	Francia (11 distritos)	14-130	0,6-2,5	3-38	0,1-0,5
	Italia (33 ciudades/regiones)	5-249	0,5-5,6	1-64	0,1-1,3
	Casale Monferrato, caso de estudio ²	20	8,2 ²	16	5,1 ²
	Holanda (país)	2003	3	307	0,4
	Federación Rusa – San Petersburgo	66	0,4	88	0,3
	España (13 regiones o ciudades)	3-121	0,2-1,2	0-44	—0,6
	Ucrania (país)	790	0,5	671	0,3
	Reino Unido, Inglaterra (país)	8224	3,6	1677	0,6
Oceanía	Australia – Australia Occidental	350	4,5	71	0,9
Asia	China (7 ciudades – 7 condados o regiones)	0-95	—0,5	0-74	—0,6
	India (12 ciudades)	0-15	—0,1	0-8	—0,1
	Japón (7 prefecturas y ciudad)	18-415	0,3-1,4	7-129	0,1-0,3

Nota: cifras obtenidas de *Incidencia del cáncer en los cinco continentes vol. x* (Forman *et al.*, 2014), con excepción de (1) calculado directamente por los investigadores con información recolectada en Sibaté y (2) tomado del estudio desarrollado en Casale Monferrato en Italia para el periodo 1980-1989, que usa la población de Italia en 1981 para la estandarización (Magnani *et al.*, 1995).

Fuente: la tabla original se puede consultar en (Ramos-Bonilla *et al.* 2019).

Localización, caracterización y evaluación del riesgo de los sitios contaminados con asbesto en Sibaté

Como se explicó, en las etapas iniciales de esta investigación, habitantes de Sibaté reportaron la existencia de rellenos en distintas zonas del municipio que fueron contruidos con residuos contaminados con asbesto. Las personas señalaban que los rellenos y sitios contaminados estaban concentrados en los barrios San Rafael, El Progreso, El Carmen y San Martín, información que fue verificada en el desarrollo de esta investigación tal como se explicará a continuación.

Para corroborar la existencia de las zonas rellenas, el primer paso fue identificar las zonas de Sibaté en las que se presentaron cambios topográficos. Para esto se utilizó un modelo digital de terreno con el cual se compararon los mapas del municipio de los años de 1950 y 1978, comparación con la que se pudo identificar dónde se presentaron cambios topográficos importantes en términos de la altura del terreno. Este ejercicio derivó en la identificación de 23 hectáreas de zonas que fueron designadas como *posiblemente* rellenas (véase la figura 3). Dentro de estas 23 hectáreas existían zonas que en mapas antiguos del municipio aparecían como inundadas con el agua del embalse del Muña (las denominadas colas de agua del embalse), zonas que en la actualidad están secas, lo que constituye una evidencia más certera de que son zonas rellenas. Estas zonas fueron designadas como *probablemente* rellenas y tienen una extensión aproximada de 2,8 hectáreas (figura 3) (Ramos-Bonilla *et al.*, 2019).

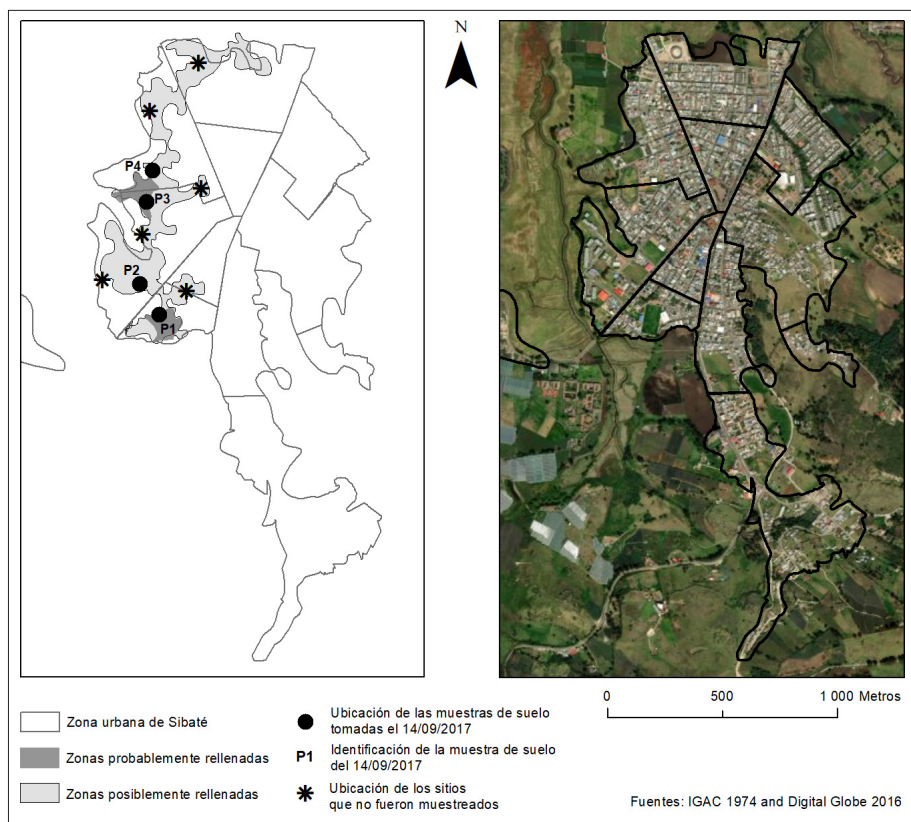


FIGURA 3. Zonas rellenadas en Sibaté

En el mapa de la izquierda se puede ver el casco urbano de Sibaté, las zonas *probable* y *posiblemente* rellenadas y los puntos en los que se tomaron las muestras de suelo el 14 de septiembre del 2017. La imagen satelital de la derecha muestra la zona urbana de Sibaté

Fuente: imágenes usadas con permiso del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, bajo licencia Creative Commons CC BY 4.0.

Una vez identificadas las zonas *posiblemente* y *probablemente* rellenadas, se buscó verificar en campo esta información por medio de una campaña de muestreo de suelo. Con base en el conocimiento que se tenía del terreno y con la ayuda de imágenes satelitales recientes, se seleccionaron diez sitios específicos en los cuales se tomarían las muestras de suelo. El 14 de septiembre del 2017 se tomaron muestras de suelo y se recogieron distintos tipos de materiales presentes en las zonas rellenadas en cuatro de los diez puntos seleccionados (véanse en la figura 3 los puntos P1 a P4 del mapa de la izquierda), siguiendo los métodos ASTM

D7521-16 (ASTM, 2016) y las guías de muestreo de suelo de la EPA (EPA, 1996). Las muestras fueron analizadas en el laboratorio acreditado *Forensic Analytical* (Hayward, CA, USA). Los cuatro sitios muestreados se señalan con puntos negros en la figura 3 (P1-estadio, P2-escuela, P3-campo de fútbol con pista atlética, P4-punto ubicado afuera de la cancha de fútbol con pista atlética).

En la figura 4 se muestra en una fotografía panorámica del casco urbano de Sibaté los sitios en los que se tomaron las muestras de suelo: en el estadio de fútbol (punto 1), en la escuela pública (punto 2) y en la cancha de fútbol con pista atlética (puntos 3 y 4).

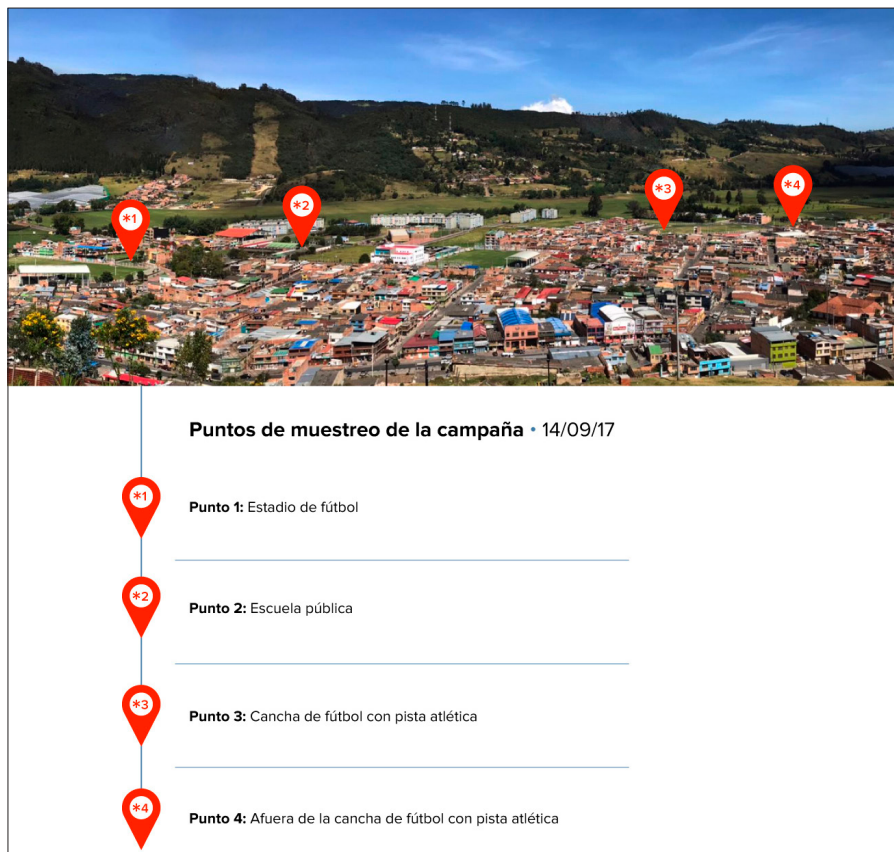


FIGURA 4. Lugares de toma de muestras

Fotografía panorámica del casco urbano de Sibaté tomada desde el cerro La Inmaculada, dirección occidente, con la ubicación de los lugares en los que se tomaron las muestras de suelo el 14 de septiembre del 2017

Fuente: elaborada por Silvia Reyes, utilizando fotografías tomadas por el equipo de investigadores.

En tres de los cuatro puntos de muestreo se encontró una capa de un material que por su aspecto se sospechó que podía contener asbesto, sospecha que fue confirmada posteriormente por el laboratorio, el cual describió el material como asbesto friable con un contenido de asbesto crisotilo que oscilaba entre el 5 y el 10 %. El asbesto friable es un asbesto que está suelto porque no está retenido en una matriz de encapsulamiento y, por lo tanto, cuando se entra en contacto con este tipo de asbesto existe un riesgo muy alto de exposición. También se encontró que una de las muestras de asbesto friable contenía 2 % de asbesto crocidolita. En los sitios muestreados también se encontraron residuos que contenían asbesto no friable. La profundidad de la capa de asbesto friable osciló entre 35 cm y 110 cm (tabla 3).

TABLA 3. Sitios muestreados el 14 de septiembre del 2017 y resultados de las muestras

Zona	Punto de muestreo	Descripción de la muestra por parte del laboratorio que hizo el análisis	Profundidad la muestra desde la superficie (cm)	Tipo de asbesto encontrado	Contenido de asbesto (%)
Estadio	P1 - Fuera del estadio	Material de construcción no friable	17	ND	ND
		Material de construcción friable	10	Crisotilo	10
		Material friable	110	Crisotilo	5
		Grava arenosa	23	ND	ND
		Grava arenosa	105	ND	ND
Escuela pública	P2 - Escuela pública	Material friable	35	Crisotilo/Crocidolita	10/2
		Limo	71	ND	ND
		Grava arenosa	18	ND	ND
Cancha de fútbol con pista de atletismo	P3 - Dentro de la cancha de fútbol con pista de atletismo	Material friable	63	Crisotilo	5
		Material friable	67	Crisotilo	5
		Material friable	80	Crisotilo	10
		Material friable/suelo	80	Crisotilo	10/2
	P4 - Fuera de la cancha de fútbol con pista de atletismo	Material friable	98	Crisotilo	5
		Suelo	44	Crisotilo	2
		Material de construcción no friable	77	Crisotilo/Crocidolita	2/2
		Material de construcción no friable	85	Crisotilo/Crocidolita	2/2
		Grava arenosa	45	ND	
		Grava arenosa/material friable	105	ND/ Crisotilo/Crocidolita	ND/10/2

ND: no detectable.

Fuente: la tabla original se puede consultar en Ramos-Bonilla *et al.*, (2019).

En la figura 5, se muestran fotografías de los sitios muestreados y del proceso de toma de muestras de suelo durante la campaña de muestreo del 14 de septiembre del 2017. En esta figura también se muestra una imagen satelital de Sibaté con la ubicación de los puntos de muestreo. En varias fotografías se puede ver el aspecto que tiene la capa de asbesto friable.

En el desarrollo del estudio no se esperaba encontrar una capa de asbesto friable en los sitios contaminados de la zona urbana de Sibaté, debido a que los reportes anecdóticos de la población describían los residuos de asbesto depositados como pedazos de productos de asbesto-cemento que incluían tejas, tanques y tuberías, que si están en buenas condiciones es asbesto no friable. Debido a que es imposible confirmar la presencia de asbesto en una muestra por medio de una inspección visual, combinado con el riesgo de exposición que existe al entrar en contacto con asbesto que podría ser friable, la decisión que se tomó fue suspender la campaña de muestreo hasta confirmar con el laboratorio el tipo de material que se había encontrado. Por esta razón la campaña de muestreo de suelo no se llevó a cabo en seis de los diez sitios que se habían seleccionado inicialmente. En la figura 3 se muestran todos los sitios que desde el inicio se planeaba muestrear y se señalan los cuatro sitios que fueron muestreados (P1-P4), así como la ubicación de los sitios que no se muestrearon. Afortunadamente el protocolo de muestreo incluía la aplicación de métodos húmedos durante las excavaciones y en la recolección de las muestras, que es una estrategia muy efectiva para evitar la dispersión de las fibras de asbesto en el aire cuando se entra en contacto con materiales friables y no friables.



FIGURA 5. Campaña de muestreo de suelo realizada el 14 de septiembre del 2017

En la imagen satelital se señalan los puntos de muestreo y en las fotografías panorámicas de Sibaté se muestra la ubicación de estos mismos sitios de muestreo en distintos escenarios. En varias fotografías se puede ver la capa de asbesto friable que se descubrió en el desarrollo de esta investigación.

Fuente: elaborada por Silvia Reyes, utilizando fotografías tomadas por el equipo de investigadores.

A pesar de que a finales del 2017 la Alcaldía de Sibaté fue notificada acerca del hallazgo de la capa de asbesto friable, durante el segundo semestre del 2018 se desarrollaron obras de gran envergadura para reemplazar las tuberías de aguas residuales del municipio, para lo cual se hicieron excavaciones de gran extensión que perturbaron la capa de asbesto friable, lo que podría haber dispersado fibras de asbesto en amplios sectores del municipio. Reiterando la advertencia que ya se le había hecho a la Alcaldía sobre el riesgo derivado de perturbar las zonas rellenadas, el 19 de octubre del 2018 se adelantó una campaña de muestreo de suelo en los perfiles de algunas de las excavaciones que todavía estaban abiertas alrededor del estadio de fútbol, para lo cual se recogieron cuatro muestras siguiendo los mismos procedimientos de muestreo y análisis de suelo descritos previamente. En la figura 6, se muestra en la imagen del centro la ubicación de los sitios en los que se tomaron muestras en el perfil de las excavaciones alrededor del estadio de fútbol (E1 a E4). En esta misma figura se presentan fotografías de las excavaciones, del proceso de muestreo y detalles del aspecto de la capa de asbesto friable. En el mapa y la imagen satelital de la figura 6 se muestra la zona del municipio de Sibaté en la que se tomaron estas muestras.

Tres de las muestras de suelo tomadas en las excavaciones tenían un contenido de asbesto crisotilo del 10 % y de asbesto crocidolita entre el 2 % y el 5 % (tabla 4). La cuarta muestra era suelo de color café oscuro con un contenido de asbesto crisotilo del 2 % (tabla 4) (Lysaniuk *et al.*, 2020). La campaña de muestreo de suelo llevada a cabo en las excavaciones confirmó la presencia de la capa de asbesto friable en otras zonas del casco urbano de Sibaté.

TABLA 4. Muestras de suelo tomadas en octubre del 2018
en las excavaciones para cambiar las tuberías

Sitio muestreado	Descripción de la muestra por parte del laboratorio	Profundidad de toma de la muestra desde la superficie (cm)	Espesor de la capa de asbesto (cm)	Tipo de asbesto encontrado	Contenido de asbesto de la muestra (%)
E1	Material gris friable	64	13	Crisotilo/Crocidolita	10/5
E2	Material blancuzco friable	109	31	Crisotilo/Crocidolita	10/2
E3	Material gris friable	72	36	Crisotilo/Crocidolita	10/2
E4	Suelo café oscuro	65	38	Crisotilo	2

Nota: véase la ubicación de los sitios de muestreo E1 a E4 en la figura 6.

Fuente: la tabla original se puede consultar en Lysaniuk *et al.* (2020).

Aunque los resultados encontrados hasta ese momento de la investigación demostraron la existencia de sitios contaminados con asbesto en Sibaté, los métodos utilizados para establecer las zonas *posiblemente* y *probablemente* rellenadas se basaban exclusivamente en mapas topográficos de dos años distintos y en una imagen satelital reciente. Además, como las muestras de suelo se tomaron en sitios específicos de las zonas rellenadas, la comprensión de la dimensión del problema era todavía preliminar. En este contexto, y con el fin de mejorar el entendimiento de la extensión de las zonas rellenadas y su historia, se amplió el análisis geográfico incluyendo nuevas fotografías aéreas y mapas topográficos de la zona, los cuales se obtuvieron del Instituto Geográfico Agustín Codazzi.



FIGURA 6. Ubicación de las muestras tomadas el 18 de octubre del 2018. Muestras extraídas de las excavaciones hechas por el municipio (E1 a E4) y en ellas se puede apreciar en detalle la capa de asbesto friable y el proceso de toma de una muestra.

Fuente: elaborada por Silvia Reyes, utilizando fotografías tomadas por el equipo de investigadores. Mapas usados con permiso del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, bajo licencia Creative Commons CC BY 4.0.

Para analizar en detalle la evolución del uso del suelo en Sibaté, se recopilaron mapas topográficos relevantes y disponibles de la zona urbana del municipio de los años de 1950, 1978 y 1989, que se integraron en un sistema de información geográfico para su análisis. La figura 7 muestra estos mapas y una imagen satelital de la zona del 2016. En esta se observa que, en 1950, el embalse del Muña llegaba hasta los límites del casco urbano de Sibaté (que en ese momento era parte del municipio de Soacha) y, a medida que se expandieron los barrios, las colas del Muña fueron desapareciendo, algo que es evidente al comparar los mapas de 1978 y 1989. En la imagen satelital del 2016 (figura 7) se ve de manera clara que en zonas previamente inundadas existe en la actualidad un estadio de fútbol en la zona sur y una cancha de fútbol con pista atlética en el occidente. En las muestras de suelo recolectadas en ambos sitios se confirmó la presencia de la capa de asbesto friable y la existencia de las zonas rellenadas, que corresponden con bastante precisión con las zonas *probables* de relleno identificadas antes por medio de los análisis realizados con herramientas geográficas (Ramos-Bonilla *et al.*, 2019).

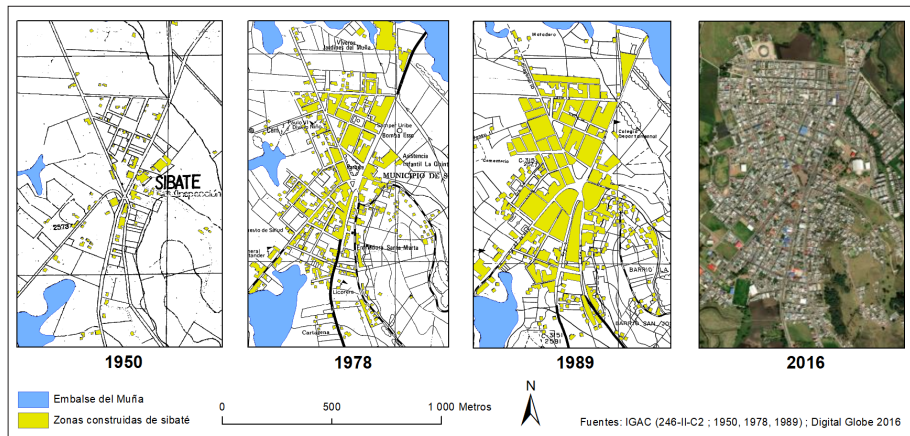


FIGURA 7. Evolución de la zona urbana de Sibaté desde 1950

Fuente: la figura original se puede consultar en Lysaniuk *et al.* (2020). Mapas usados con permiso del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, bajo licencia Creative Commons cc BY 4.0.

Se identificaron también fotografías aéreas de la zona de estudio de los años de 1965 (M 1337-34854-escala estimada: 1:50000), 1974 (C 1546-41-escala estimada: 1:50000), 1986 (C 2245-356-escala: 1:9000), 1995 (C 2549-40-escala: 1:40000) y 2005 (C 2760-26-escala: 1:10810). Estas fotografías se

georreferenciaron en un SIG, lo que permitió superponerlas a imágenes satelitales recientes y caracterizar de esta manera la evolución de la zona urbana de Sibaté. Además, se determinaron los cambios de uso del suelo que se han presentado, como se puede ver en la figura 8 (Lysaniuk *et al.*, 2020).

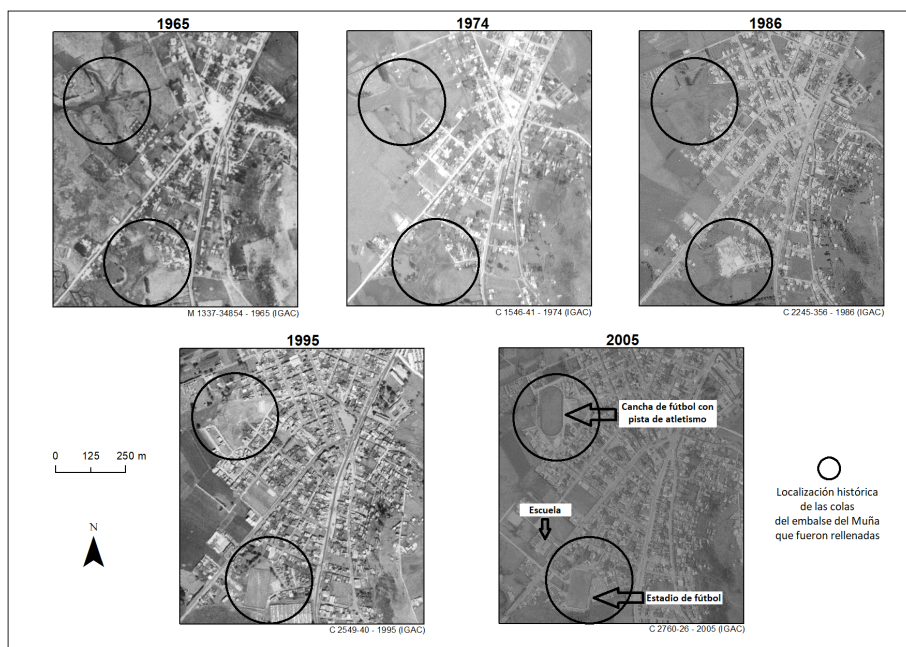


FIGURA 8. Fotografías áreas de los años de 1965, 1974, 1986, 1995 y 2005
En las fotografías se observan los cambios en las zonas al sur y al occidente del casco urbano de Sibaté, que originalmente estaban inundadas y que de manera paulatina fueron secadas y rellenadas.

Fuente: la figura original se puede consultar en Lysaniuk *et al.* (2020). Fotografías usadas con permiso del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, bajo licencia Creative Commons CC BY 4.0.

Como era de esperarse, hay coincidencia en los hallazgos encontrados en las fotografías aéreas y los mapas, en los que se observa una densificación progresiva de la zona urbana de Sibaté en torno a un núcleo de viviendas originales. El valor agregado de analizar las fotografías aéreas es que mejoran la comprensión de los cambios ocurridos a lo largo de los años en las zonas inundadas en las partes sur y occidente del área urbana del municipio (Lysaniuk *et al.*, 2020). Las fotografías de 1965 y 1974 no muestran que se haya iniciado el proceso de relleno de las zonas (figura 8). En cambio, la fotografía aérea de 1986 (figura 8) proporciona nueva

información sobre la historia de las zonas rellenadas. Se confirma la asincronía en el proceso de creación de los rellenos ubicados en el sur y en el occidente del casco urbano de Sibaté, pero, contrario a lo que sugieren los mapas topográficos, el sector sur habría sido el primero en ser rellenado. La fotografía aérea de 1986 (figura 8) muestra que dos tercios del sector sur parecen haber sido rellenados, y se observan líneas rectas de origen posiblemente antropogénico. Estas líneas pueden haber sido creadas por los camiones que transportaron los residuos a la zona o por el equipo de compactación del suelo. La fotografía aérea de 1995 (figura 8) muestra que se ha completado la desecación del sector sur y que encima se ha construido el estadio de fútbol. Esta fotografía también muestra que a mediados de la década de 1990 aún no había finalizado el proceso de secado de la cola de agua del embalse del Muña ubicada en la zona occidental del municipio. Por último, la fotografía aérea de 2005 (figura 8) muestra que las colas de agua del embalse del Muña ubicadas en el sur y en el occidente del municipio ya se habían rellenado y que encima se construyeron instalaciones deportivas que siguen funcionando en la actualidad: una cancha de fútbol con pista atlética en el occidente y un estadio de fútbol en el sur. La superficie total rellenada tiene un área aproximada de 4,5 hectáreas.

De modo paralelo al uso de herramientas geomáticas, se implementó una segunda estrategia para reconstruir la historia de los rellenos, para lo cual se organizaron dos talleres participativos con habitantes de Sibaté con el objetivo de documentar la memoria colectiva de lo sucedido por medio de un ejercicio de cartografía. En el primer taller, desarrollado el 28 de abril del 2018 con once personas, se distribuyeron mapas que únicamente tenían delineada la frontera externa de la zona urbana y los barrios de Sibaté. Luego se solicitó a los participantes que dibujaran las zonas en las que se hicieron los rellenos. Todos estos mapas fueron georreferenciados en un SIG y con estos se elaboró un mapa que integraba la ubicación de las zonas rellenadas con códigos de colores para representar la frecuencia con la que dichas zonas fueron señaladas por los participantes. La figura 9 muestra el resultado de este ejercicio: las zonas señaladas con los colores más oscuros representan las que con mayor frecuencia fueron señaladas como zonas rellenadas por los participantes, las cuales a su vez coinciden en gran medida con las zonas identificadas como zonas rellenadas por medio del análisis de mapas y fotografías aéreas (Lysaniuk *et al.*, 2020).

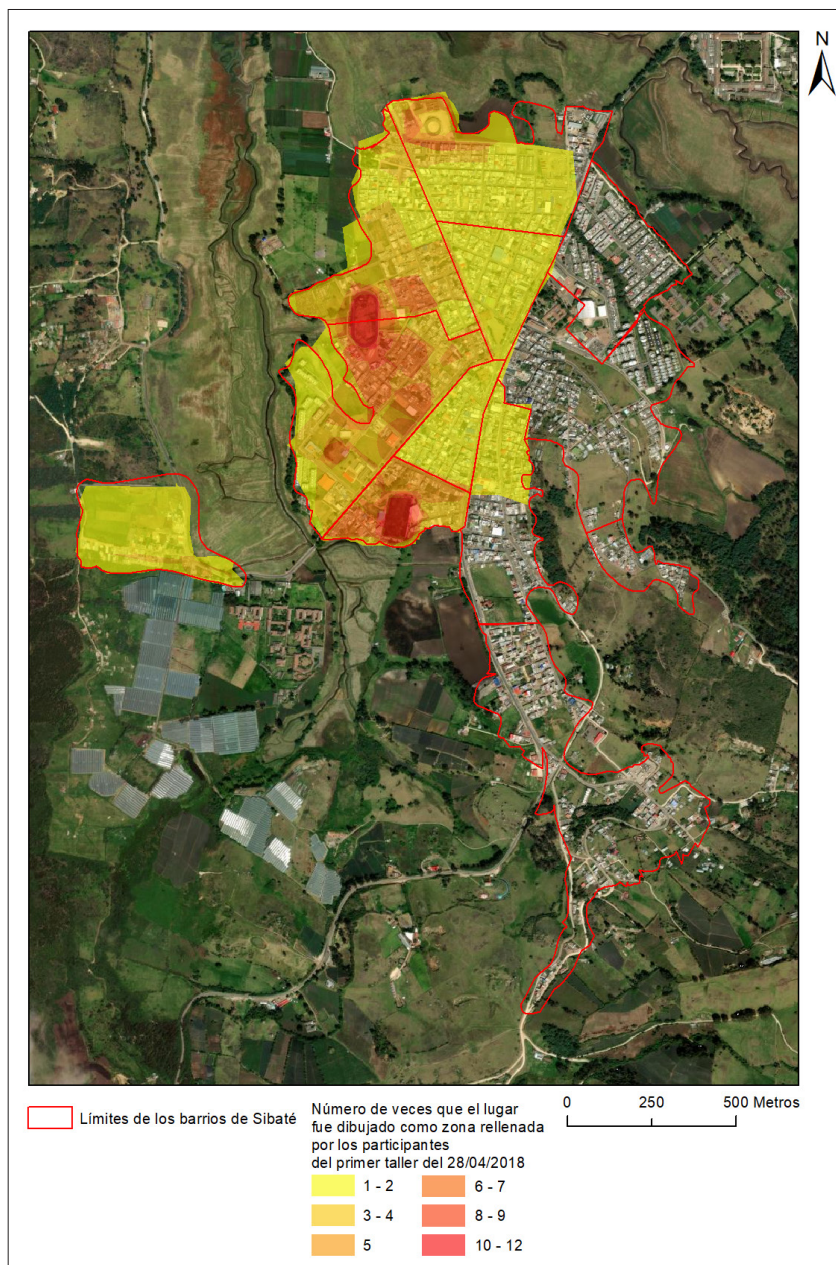


FIGURA 9. Ubicación de las zonas rellenadas según los participantes del primer taller del 28 de abril del 2018

Fuente: la figura original se puede consultar en Lysaniuk *et al.* (2020). Digital Globe 2016.

Durante la discusión de los resultados del primer taller del 28 de abril del 2018, los participantes hicieron una distinción entre zonas de disposición de residuos y zonas rellenas. Por esta razón, en el desarrollo del segundo taller con siete habitantes, el 30 de marzo del 2019, se repitió el ejercicio de cartografía, en el que se preguntó explícitamente por la ubicación de las zonas de disposición y de las zonas rellenas. A partir de los mapas elaborados por los participantes en el segundo taller se construyeron dos mapas, uno para las zonas de disposición de residuos y otro para las zonas rellenas (figura 10). La conclusión es que la ubicación de las zonas rellenas y de las zonas de disposición es la misma, pero existieron eventos específicos en el proceso de disposición de residuos y de creación de las zonas rellenas que llevaron a los participantes del primer taller a diferenciar ambas zonas. De acuerdo con lo que explicaron los participantes del segundo taller, cuando llegaban los camiones con los residuos que se utilizaban para hacer los rellenos, en algunas ocasiones, los habitantes del municipio pedían a los conductores que dejaran residuos en sus viviendas para nivelar los pisos de las casas o para hacer los cimientos, y a veces también ocurría que los habitantes del municipio iban a las zonas rellenas y sacaban residuos para llevarlos a sus casas. Por eso en la figura 10, el mapa de la izquierda muestra unas zonas de disposición de residuos más amplias comparadas con las zonas rellenas del mapa de la derecha. Esto es un hallazgo preocupante porque sugiere que la contaminación con asbesto en Sibaté podría extenderse a un área mucho más grande que la originalmente identificada.

Aunque el uso de mapas y fotografías aéreas adicionales contribuyó de forma importante en mejorar nuestro entendimiento de la historia y características de las zonas rellenas, hay que aclarar que los límites de estas zonas y, por lo tanto, su delimitación en términos del riesgo de exposición que representan, sigue teniendo un grado de incertidumbre. Esta incertidumbre se evidencia en la figura 6. Esta muestra en el centro una fotografía aérea de la zona del estadio con la ubicación de los puntos muestreados en los perfiles de las excavaciones que hizo el municipio en el 2018 (E1 a E4), sitios en los que se confirmó la presencia de la capa de asbesto friable. En esa misma fotografía aérea se superpone en color azul la extensión teórica que tenía la cola del embalse del Muña en 1974, con base en la información de la fotografía aérea de ese año. A pesar de que en los cuatro puntos de las excavaciones, en los que se tomaron muestras, se comprobó la presencia de la capa de asbesto friable, dos de estos puntos (E1 y E4), aunque están muy cerca del límite de la cola del embalse, quedan ubicados por fuera de esta, lo que indica que la zona contaminada se puede extender por fuera de las fronteras que se trazan

con las herramientas geográficas utilizadas. Es decir, las fronteras de las zonas rellenadas establecidas en esta investigación deben utilizarse con cautela para la toma de decisiones. Es necesario implementar en el futuro otro tipo de herramientas para precisar aún más los límites que separan las zonas contaminadas con asbesto de las zonas en las que no hay presencia de este mineral.

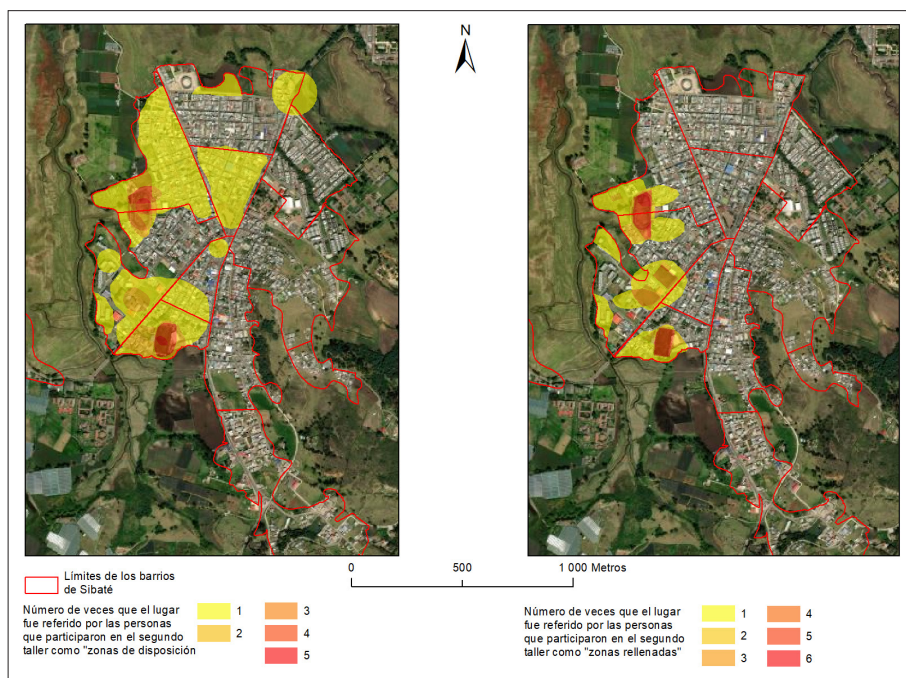


FIGURA 10. Ubicación de las zonas de disposición de residuos (izquierda) y de las zonas rellenadas (derecha) según los participantes del segundo taller realizado el 30 de marzo del 2019

Fuente: la figura original se puede consultar en Lysaniuk *et al.* (2020). Source Digital Globe 2016.

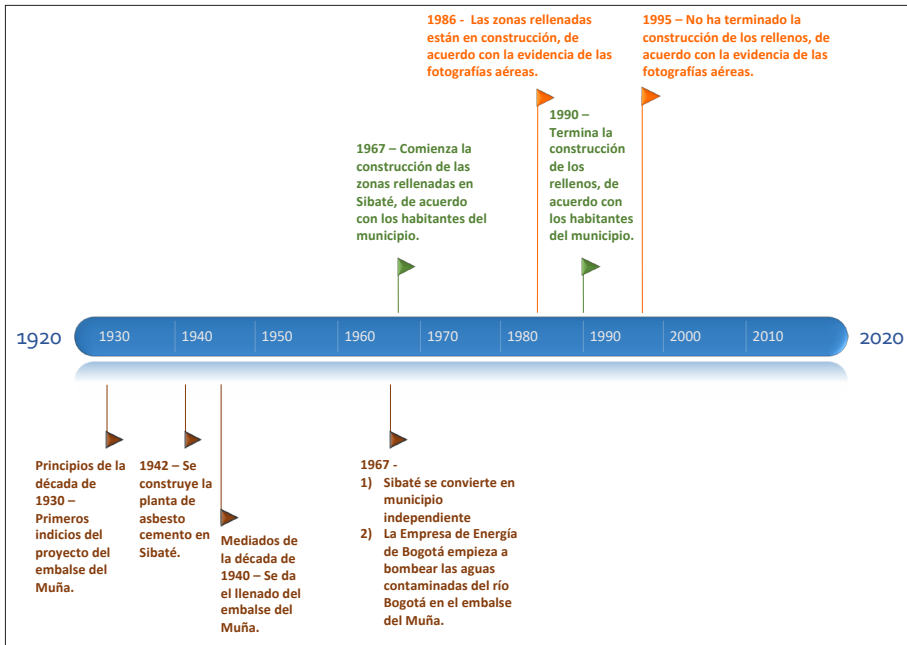


FIGURA 11. Momentos importantes en la historia de Sibaté y en la creación de las zonas rellenadas contaminadas con asbesto

Fuente: la figura original se puede consultar en Lysaniuk *et al.* (2020).

En la figura 11 se presenta de manera esquemática una línea de tiempo del desarrollo de las zonas rellenadas, integrando la evidencia obtenida por medio de los análisis geográficos y la evidencia obtenida en los talleres desarrollados con habitantes del municipio. En esta figura se ve la importancia de haber utilizado distintas fuentes de información para entender la historia de los rellenos de Sibaté, porque las fuentes se complementan. Por ejemplo, los habitantes del municipio señalan que la construcción de los rellenos se inicia en 1967, algo que solo se hace evidente en la fotografía aérea de 1986. Por el contrario, los habitantes señalan que la construcción de los rellenos finaliza en 1990, mientras que la fotografía aérea de 1995 muestra que en ese año todavía no se había terminado este proceso. Este último hallazgo es muy importante, porque sugiere que los rellenos seguían en construcción en la segunda mitad de la década de 1990.

Es importante explicar que la historia de los rellenos que se hicieron en Sibaté con residuos contaminados con asbesto y las razones para su creación parecerían estar estrechamente relacionadas con el embalse del Muña. Aunque

la construcción de los rellenos en las colas de agua del embalse resultó en una extensión de la superficie plana del casco urbano de Sibaté, en el que posteriormente se construyeron diferentes instalaciones, la razón de fondo para construir los rellenos parece haber sido la implementación de una estrategia para alejar el agua contaminada, los malos olores y los mosquitos asociados con el embalse. En este proceso se utilizaron residuos contaminados con asbesto, algo a todas luces inaceptable y que ha tenido como consecuencia un impacto grave en la salud de los habitantes y derivó en la creación de zonas contaminadas que siguen representando un riesgo para la población.

En este estudio también se evaluó el riesgo de exposición al asbesto en la superficie de las zonas rellenadas en las que hay presencia de asbesto friable. Para esto se hicieron muestreos ABS en distintos escenarios del municipio. En el muestreo ABS *genérico* realizado en el estadio y en los dos muestreos ABS *específicos* hechos en un parque infantil y en la escuela, se tomaron un total de veinticinco muestras de aire, de las cuales quince eran muestras personales, siete de área y tres blancos. De las veinticinco muestras originales se descartaron tres muestras personales: una el mismo día del muestreo por fallas en la bomba y dos porque el laboratorio no las pudo analizar porque estaban cubiertas con una sustancia desconocida. Por esta razón, se analizaron veintidós muestras por PCM, siguiendo el método NIOSH 7400, de las cuales doce eran muestras personales, siete de área y tres blancos (Cely-García *et al.*, 2020). Todas las veintidós muestras tuvieron concentraciones por debajo del límite de detección (LOD, por sus siglas en inglés) y reportaron un número de fibras entre 0 y 4. La figura 12 muestra los sitios en los que se realizaron las campañas de muestreo ABS y fotografías del proceso de muestreo.

Debido a que la mayoría de las muestras se colmataron y no se alcanzó el límite de sensibilidad analítica requerido, el análisis por TEM se hizo con el método indirecto ISO 13794. Como cuatro de las veintidós muestras eran muestras de área que a partir del conteo por PCM tenían cero fibras ($n = 3$) o 0,5 fibras ($n = 1$), solo se analizaron dieciocho muestras por TEM, porque ya se sabía de antemano que en estas cuatro muestras se iban a tener resultados con conteos de estructuras muy bajos y, por consiguiente, con concentraciones muy bajas. De las dieciocho muestras analizadas por TEM (doce muestras personales, tres de área y tres blancos), en ocho muestras (cuatro personales, una de área y tres blancos) no se detectaron estructuras de asbesto, en una muestra personal se encontraron estructuras de asbesto crisotilo y de asbesto actinolita, y en las otras nueve muestras (siete muestras personales y dos de área) se encontraron estructuras de asbesto crisotilo (Cely-García *et al.*, 2020).



FIGURA 12. Campañas de muestreo ABS

Estas se realizaron en el estadio de fútbol (ABS *genérico*) el 23 de noviembre del 2018 y en un parque infantil y en la escuela pública (ABS *específico*) el 11 de diciembre del 2018. En la fotografía aérea (b), las áreas verdes señalan la ubicación en la que se hicieron estos muestreos.

Fuente: elaborada por Silvia Reyes, utilizando fotografías tomadas por el equipo de investigadores. Mapas usados con permiso del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, bajo licencia Creative Commons CC BY 4.0.

El método ISO 13794 reporta resultados para tres tamaños de estructuras: número de estructuras totales, número de estructuras mayores a $5\ \mu\text{m}$ y número de estructuras PCM-equivalente. Con base en los resultados PCM-equivalente de las muestras personales se calcula el nivel de riesgo de desarrollar cáncer por hacer actividades en un escenario.

En términos del número de estructuras totales de asbesto, en cuatro muestras personales no se detectaron estructuras (concentración reportada como no detectada - ND) y en las otras ocho muestras personales se encontraron entre 1 y 12 estructuras, con concentraciones entre 0,006 y 0,326 S/cc (S/cc: estructuras por centímetro cúbico). Ninguna de las estructuras detectadas tenía una longitud superior a los $5\ \mu\text{m}$ (Cely-García *et al.*, 2020).

En ninguna muestra se detectó estructuras PCM-equivalente, por lo que las concentraciones estuvieron por debajo de la sensibilidad analítica. En estos casos, para efectos de los cálculos del nivel de riesgo, se utiliza 0 S/cc de concentración (EPA, 2008; 2007). Debido a lo anterior, en todos los escenarios en los que se hicieron los muestreos ABS (estadio de fútbol, parque infantil cubierto de arena y patio de juegos de una escuela pública del municipio), el riesgo excesivo de desarrollar cáncer estuvo dentro de los niveles de riesgo aceptados por la EPA (Cely-García *et al.*, 2020).

Es importante discutir en más detalle el nivel de riesgo aceptable encontrado en la superficie de los rellenos de Sibaté donde se hicieron los muestreos ABS. En primera instancia, no se puede descartar que una de las razones por las que no se detectaron estructuras PCM-equivalente, es que el método indirecto de análisis TEM puede fragmentar y hacer más cortas las estructuras de asbesto, poniéndolas en un rango de tamaño por debajo de los $5\ \mu\text{m}$ de longitud, lo que las descarta a la luz de los criterios de conteo (Breysse, 1991). Además, estos son resultados preliminares porque la campaña de muestreo incluyó un número pequeño de muestras que se obtuvieron en un número limitado de sitios en los que hay presencia de asbesto en el subsuelo de Sibaté. Adicionalmente las muestras se tomaron en una época específica del año y pueden existir variaciones estacionales que influyen la concentración de asbesto en el aire, como son la precipitación, la humedad relativa del aire y la velocidad y dirección del viento. Por lo tanto, es importante seguir investigando el riesgo de exposición al asbesto en la superficie de las zonas contaminadas, recomendación que cobra más fuerza si se considera que en los sitios contaminados hay instalaciones deportivas que tienen un uso permanente por parte de niños y jóvenes (Cely-García *et al.*, 2020).

Conclusiones y recomendaciones

La historia ambiental de Sibaté está determinada por la existencia de una amenaza para la salud de la población proveniente de grandes extensiones de la zona urbana del municipio contaminadas con una capa de asbesto friable en el subsuelo que, a su vez, parecería ser el resultado de los esfuerzos de la población por mitigar una amenaza ambiental proveniente de las aguas contaminadas, los malos olores y el creciente número de mosquitos asociados con las aguas del embalse del Muña. Es decir, una amenaza ambiental evidente y claramente perceptible, el Muña, fue sustituida por otra que, en su momento, no fue percibida por los habitantes como tal, que fueron los rellenos contruidos con residuos contaminados con asbesto. Este caso se constituye en un ejemplo más de cómo las malas decisiones ambientales pueden tener consecuencias inesperadas que van más allá de los impactos directos y evidentes que supuestamente se habían anticipado. Además de haber deteriorado gravemente con aguas contaminadas un embalse que hasta ese momento era un foco de desarrollo económico y de actividades recreativas amigables con el ambiente, la cuestionable decisión de permitir el bombeo de las aguas del río Bogotá en el embalse podría haber derivado muchos años después en graves impactos en la salud de la población y en la creación de pasivos ambientales que marcarán el destino de Sibaté por muchas décadas. El problema creado es intergeneracional, para el cual se necesitan intervenciones decididas y drásticas por parte del Estado para minimizar los graves impactos en la salud de la población que empiezan a ser evidentes.

Uno de los resultados de esta investigación fue el hallazgo, por primera vez en Colombia, de un clúster de mesotelioma presente en la población general de un municipio. Este hallazgo no es sorprendente porque ha sido documentado en otras regiones del mundo en las que han operado plantas de asbesto-cemento, siendo el caso insigne a nivel mundial el de Casale Monferrato en el norte de Italia (Magnani *et al.*, 1995). Las similitudes entre Sibaté y Casale Monferrato en términos del tamaño de la población y los eventos de contaminación encontrados son muy preocupantes, si se tiene en cuenta que la dimensión del problema que hemos documentado en Sibaté es muy pequeño en términos comparativos con lo que está ocurriendo en Casale Monferrato, por lo que es posible que en las próximas décadas se presente un incremento importante en las cifras de mortalidad y morbilidad en Sibaté como consecuencia de la exposición al asbesto que ha sufrido la población.

El descubrimiento y caracterización de los sitios contaminados con asbesto en Sibaté es igualmente preocupante por múltiples razones. En primer lugar, estos sitios siguen representando un riesgo de exposición de la población, tal como se identificó con las excavaciones que hizo el municipio en zonas rellenadas para cambiar las tuberías. A esto se suma que en algunos lugares, como la escuela pública, la capa de asbesto friable está muy cerca de la superficie (35 cm), por lo que puede ser fácilmente perturbada con el consecuente riesgo de exposición. En segundo lugar, y a pesar de que en el marco de esta investigación encontramos que en la actualidad el riesgo de desarrollar cáncer al hacer actividades en la superficie de las zonas rellenadas está dentro de los límites permisibles internacionalmente, el número de muestras y el área de las zonas muestreadas es todavía muy pequeña para descartar que este riesgo exista, a lo que se suma que en algunas muestras se identificaron fibras de asbesto. En tercer lugar, el análisis de las fotografías aéreas del área de estudio sugiere que a mediados de la década de 1990 todavía se estaban construyendo zonas de relleno en Sibaté. Aunque no existen mediciones de la época de la concentración de asbesto en el aire, la presencia de la capa de asbesto friable y la descripción que hace la población de las actividades y equipos que se utilizaron en la creación de los rellenos, que incluyó mover grandes volúmenes de residuos con camiones y retroexcavadoras, sugiere que los habitantes de Sibaté pudieron haber sufrido una exposición masiva al asbesto que fue muy reciente, por lo cual se espera que el número de casos de enfermedades causadas por este material siga creciendo con el tiempo. Por último, mientras no se implemente un plan integral de gestión del riesgo en Sibaté y de remediación de las zonas contaminadas, seguirá existiendo la posibilidad de que

se presenten eventos de exposición al asbesto en la población, algo a todas luces inaceptable porque las enfermedades causadas por el asbesto son prevenibles y este es un objetivo en salud pública que no admite vacilaciones por parte de los tomadores de decisiones.

Una de las características que hace inaceptable muchos de los eventos de contaminación que involucran el asbesto, es que desde hace muchas décadas se tienen identificados materiales sustitutos menos tóxicos que hacen viable, desde una perspectiva técnica y económica, la eliminación del uso de este peligroso material en la gran mayoría de sus aplicaciones, eliminación que previene que la población sea expuesta. Sin embargo, en muchos países la industria del asbesto ha sido reticente a hacer la transición hacia materiales sustitutos, en parte porque en los países que tienen entidades ambientales débiles y con capacidad técnica limitada, la industria del asbesto puede operar de manera impune percibiendo las utilidades derivadas del uso del material, mientras que los costos que el uso del asbesto genera en términos de incrementos en la mortalidad y morbilidad de la población y en la creación de pasivos ambientales son transferidos a la sociedad. Este es el caso de Colombia, donde los costos de tratamiento de las enfermedades que causa el asbesto en la población general los asumen las Entidades Prestadoras de Salud (EPS) o los asumen las Administradoras de Riesgos Laborales (ARL) cuando es una enfermedad de origen ocupacional. Esto sin considerar el sufrimiento que este tipo de enfermedades genera en los enfermos y sus familias, ni los costos sociales de la enfermedad. Por lo anterior, cuando en los debates del proyecto de ley de prohibición del asbesto en Colombia, la industria, buscando una vez más impedir la prohibición, argumentaba que el asbesto es un material económico, siempre explicamos que esta es una gran mentira que resulta de una visión exclusivamente privada y cortoplacista del problema. El asbesto es en realidad un material en exceso costoso para las sociedades. A pesar de que la prohibición del asbesto fue uno de los logros recientes más importantes en salud pública en Colombia, hay que entender que la prohibición detiene el crecimiento del problema, pero no lo soluciona, tal como queda ejemplificado con el caso de Sibaté.

Ante este tipo de situaciones en las cuales grupos económicos poderosos imponen su afán de lucro por encima de los intereses de la sociedad, la academia tiene que desempeñar un papel esencial no solo en investigar los problemas que estos grupos causan, sino también en hacerlos de conocimiento público. Persistiremos en divulgar el problema de Sibaté, buscando que haya una respuesta estatal acorde con su gravedad.

La tragedia de Sibaté se puede estar repitiendo en otras regiones de Colombia donde ha operado la industria del asbesto. Por eso hacemos un llamado para que se investigue la situación en Bogotá, D. C., Yumbo (Valle del Cauca), Barranquilla (Atlántico), Manizales (Caldas) y Campamento (Antioquia).

En el marco de este estudio se hicieron importantes contribuciones no solo en el entendimiento del problema, sino en los métodos utilizados. Ante la ausencia de bases de datos confiables de morbilidad y mortalidad, seguimos una estrategia de búsqueda intensiva de los casos, puerta a puerta, que puede ser implementada en otras regiones de Colombia. Los análisis espaciales utilizados para entender el problema del asbesto en Sibaté son replicables y permiten subsanar en algunos casos la falta de documentación y vigilancia histórica por parte de las autoridades ambientales de actuaciones del sector productivo que van en contra de la población y del medioambiente. Y la implementación de la metodología ABS para cuantificar el riesgo de exposición en la superficie de zonas contaminadas, nos permitió adaptar una metodología que puede ser de gran utilidad en el país.

Como en todo problema complejo quedan muchas preguntas por contestar y muchos retos por abordar. En este esfuerzo inicial han podido quedar sin identificar muchas personas que han sido diagnosticadas y que han fallecido por enfermedades causadas por el asbesto y, en este sentido, se recomienda que en Sibaté se implemente un registro de mesotelioma, buscando un diagnóstico y atención temprana de las enfermedades y un seguimiento del problema que nos permita evaluar y ajustar las estrategias de intervención. Hay que continuar el esfuerzo por reducir la incertidumbre asociada con la delimitación de las zonas rellenadas. Entre más certeza se tenga de estos límites, más fácil será prevenir la exposición de las personas. Ya adquirimos con ayuda la Agencia Nacional de Investigación Francesa un GPR (*Ground-Penetrating Radar*), con el cual queremos explorar la posibilidad de utilizar métodos no invasivos para determinar la extensión de las zonas rellenadas y, si es posible, de la capa de asbesto friable. De igual manera, hay que seguir evaluando el riesgo de exposición al asbesto en la superficie de las zonas contaminadas, esfuerzo que se debe hacer extensivo al interior de las viviendas porque hay evidencia anecdótica de la presencia de asbesto en el suelo y los cimientos de muchas casas. Sin embargo, nos vemos en la necesidad de hacer un llamado de atención porque ha sido muy difícil conseguir la financiación necesaria para poder continuar con esta investigación.

Queremos hacer énfasis en el cuidado que tuvimos para que el desarrollo de la investigación y la comunicación de nuestros hallazgos no se convirtieran en otro factor de victimización de la población de Sibaté. Todas nuestras actuaciones

fueron avaladas por el Comité de Ética de la Universidad de los Andes y en el equipo de investigadores había expertas en el trabajo con comunidades afectadas por el asbesto que orientaron la forma de comunicar los resultados con un profundo respeto por la dignidad de las personas. También nos aseguramos de que antes de hacer una divulgación amplia de los resultados, estos hubieran sido validados por pares científicos.

Guardamos la esperanza de que en algún momento las autoridades ambientales y de salud a nivel municipal, departamental y nacional respondan de manera decidida a la grave problemática descrita en esta investigación. Ahora que logramos la prohibición del asbesto en Colombia, debemos trazarnos como sociedad un objetivo claro de prevenir la exposición de la población al asbesto y de eliminar las enfermedades causadas por este material.

*Yes, and how many ears must one man have
before he can hear people cry?
Yes, and how many deaths will it take till he knows
that too many people have died?*

Bob Dylan, *Blowin' in the Wind*

Declaración de conflictos de interés

Los investigadores que participamos en este proyecto no tenemos ningún conflicto de interés financiero que declarar. Nunca hemos recibido dinero de la industria del asbesto, ni tampoco hemos recibido dinero de empresas o personas con intereses económicos en la prohibición del asbesto. Juan Pablo Ramos-Bonilla respaldó la Ley de Prohibición del Asbesto en las discusiones que se dieron en el Congreso de la República de Colombia. Benedetto Terracini y Pietro Comba han servido como testigos expertos en juicios relacionados con el asbesto.

Referencias

- Allen, L. P., Baez, J., Stern, M. E. y George, F. (2017). Economic assessment of bans and declining production and consumption. *World Health Organization*.
- ASTM. (2016). ATSM D7521-16 standard test method for determination of asbestos in soil.
- Bartrip, P. W. J. (2004). History of asbestos related disease. *Postgraduate Medical Journal*, 80(940), 72-76. <https://doi.org/10.1136/pmj.2003.012526>.
- Bayona, A. (2007). Contaminacion por metales pesados en el embalse del Muña y su relacion con los niveles en sangre de plomo, mercurio y cadmio y alteraciones de salud en los habitantes del municipio de Sibaté (Cundinamarca) 2007.
- Bianchi, C. y Bianchi, T. (2015). Asbestos between science and myth. A 6000-year story. *Medicina Del Lavoro*, 106(2), 83-90.
- Breyse, P. N. (1991). Electron microscopic analysis of airborne asbestos fibers. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 22(3-4), 201-227. Doi:10.1080/10408349108055029. <https://doi.org/10.1080/10408349108055029>.
- BRICOLSA. (2017). BRICOLSA-Minera las Brisas.
- Candelo, R. C., Ortiz, R. G. A. y Unger, B. (2003). *Hacer talleres-una guía práctica para capacitadores*. WWF-DSE-IFOK.

- Cely-García, M. F., Lysaniuk, B., Pasetto, R. y Ramos-Bonilla, J. P. (2020). The challenges of applying an activity-based sampling methodology to estimate the cancer risk associated with asbestos contaminated landfilled zones. *Environmental Research*, 181. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108893>.
- DANE. (2018). Censo Nacional de Población y Vivienda (CNPV) 2018. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>.
- EPA. (1993). Method for determination of asbestos in bulk buildings materials-test method.
- EPA. (1996). Soil Screening Guidance: User's Guide. https://rais.ornl.gov/documents/SSG_nonrad_user.pdf.
- EPA. (2007). Standard operating procedures for activity based air sampling for asbestos (SOP 2084). <https://semspub.epa.gov/work/hq/174392.pdf>. 2007.
- EPA. (2008). Asbestos committee of the technical review workgroup of the office of solid waste and emergency response. Framework for investigating asbestos-contaminated superfund sites. <https://www.epa.gov/superfund/asbestos-superfund-sites>.
- EPA. (2010a). Activity-based sampling summary report operable Unit 4. Libby, Montana, Superfund Site. http://www.epa.gov/region8/superfund/libby/OU4_ABS_ResultsSummaryReportJune2010.pdf [Accessed January 2019].
- EPA. (2010b). Public schools asbestos sampling summary report. Libby, Montana, Superfund Site. U. S. EPA. 2010.
- EPA. (2019). What Is Superfund? <https://www.epa.gov/superfund/what-superfund>.
- Eternit. (2021). Historia. <https://www.eternit.com.co/web/eternit/historia>.
- ETEX. (2021). Etex en Colombia. <https://www.etex.com.co/acerca-de-etex>.
- Forman, D., Bray, F., Brewster, D. H., Gombe Mbalawa, C., Kohler, B., Piñeros, M., Steliarova-Foucher, E., Swaminathan, R. y Ferlay, J. (ed.). (2014). Cancer incidence in five continents, vol. x. *IARC Scientific Publication n.º 164*.
- Honeycutt, D. (2012). More adventures in overlay: Counting overlapping polygons with spaghetti and meatballs. ArcGIS Resources. ESRI.
- IARC. (2012). Crocidolite, Tremolite, Actinolite. *IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans-Arsenic, Metals, Fibres, and Dusts*. Vol. 100.
- IBAS. (2023). International Ban Asbestos Secretariat. http://www.ibasecretariat.org/lka_alpha_asb_ban_280704.php
- Idrovo, A. J. (2000). Epidemias, endemias y conglomerados: conceptos básicos. *Revista de La Facultad de Medicina*, 48(3), 175-180.

- Incolbest. (2021). Historia. <https://www.incolbest.com/la-compania/historia/>.
- iso. (1995). iso 10312: Ambient Air “Determination of Asbestos Fibres” Direct Transfer Transmission Electron Microscopy Method.
- iso. (1999). iso 13794: Ambient Air-Determination of Asbestos Fibres-Indirect-Transfer Transmission Electron Microscopy Method.
- Liu, B., van Gerwen, M., Bonassi, S. y Taioli, E. (2017). Epidemiology of environmental exposure and malignant mesothelioma. *Journal of Thoracic Oncology*, 12(7), 1031-45. <https://doi.org/10.1016/j.jtho.2017.04.002>.
- Llistar, D. y Roa, T. (2005). El caso del embalse del Muña: inversión pestilente en manos de ENDESA. *Ecología Política*, 30, 7-20. https://totumasymaracas.files.wordpress.com/2010/01/embalse-del-muna_2005_david-y-tatiana.pdf.
- Lysaniuk, B., Cely-García, M. F., Mazzeo, A., Marsili, D., Pasetto, P., Comba, P. y Ramos-Bonilla, J. P. (2020). Where are the landfilled zones? Use of historical geographic information and local spatial knowledge to determine the location of underground asbestos contamination in Sibaté (Colombia). *Environmental Research*, 191, 110182. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110182>.
- Lysaniuk, B., Cely-García, M. F., Giraldo, M., Larrahondo, J. M., Serrano-Calderón, L., Guerrero-Bernal, J. C., Briceno-Ayala, L., Cruz Rodríguez, E. y Ramos-Bonilla, J. P. (2021). Using GIS to estimate population at risk because of residence proximity to asbestos processing facilities in Colombia. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(24). <https://doi.org/10.3390/ijerph182413297>.
- Magnani, C., Terracini, B., Ivaldi, C., Botta, M., Mancini, A. y Andron, A. (1995). Pleural malignant mesothelioma and non-occupational exposure to asbestos in Casale Monferrato, Italy. *Occupational and Environmental Medicine*, 52(6), 362-367. <https://doi.org/10.1136/oem.52.6.362>.
- Mesothelioma National Register. (2002). Guidelines for the identification and definition of malignant mesothelioma cases and the transmission to ispesl by regional operating centres. https://www.inail.it/cs/internet/docs/renam_guidelines.pdf?section=attivita.
- Minsalud. (2019). SISPRO: Sistema Integrado de Información de La Protección Social. <https://www.sispro.gov.co/Pages/Home.aspx>.
- Murray, R. (1990). Asbestos: A chronology of its origins and health effects. *British Journal of Industrial Medicine*, 47, 361-365.
- NIOSH. (1994). 7400 asbestos and other fibers by PCM. [Http://www.Cdc.Gov/Niosh/Docs/2003-154/Pdfs/7400.Pdf](http://www.Cdc.Gov/Niosh/Docs/2003-154/Pdfs/7400.Pdf).

OMS. (2015). Asbesto crisotilo.

Ramos-Bonilla, J. P., Cely-García, M. F., Giraldo, M., Comba, P., Terracini, B., Pasetto, R., Marsili, D., Ascoli, V., Lysaniuk, B., Rodríguez, M. C., Mazzeo, A., López Panqueva, R. P., Baldión, M., Cañón, D., García-Herreros, L. G., Pinzón, B., Hernández, L. J. y Silva, Y. A. (2019). An asbestos contaminated town in the vicinity of an asbestos-cement facility: The case study of Sibaté, Colombia. *Environmental Research*, 176. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.04.031>.

Restrepo Sarmiento, M. M. y Gómez-Restrepo, C. (2004). Sesgos en diseños analíticos. *Revista Colombiana de Psiquiatría*, 33(3), 327-335.

Rodríguez Gómez, J. C. (1999). *Historia de la Empresa de Energía de Bogotá*. 3 vol.

Rubio Torgler, H., Ulloa Cubillos A. y Campos Roza, C. (2000). *Manejo de fauna de caza, una construcción a partir de lo local. Métodos y herramientas*. Organización Regional Indígena Embera-Wounan, OREWA.

Ryan, P. H., LeMasters, G. K., Burkle, J., Lockey, J. E., Black, B. y Rice, C. (2015). Childhood exposure to Libby Amphibole during outdoor activities. *J Expo Sci Environ Epidemiol*, 25(1), 4-11. 10.1038/Jes.2013.26.

Sibaté Alcaldía. (2021). Alcaldía de Sibate: pasado, presente y futuro. <https://www.sibate-cundinamarca.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Pasado-Presente-y-Futuro.aspx>.

Soacha Ilustrada. (2013). Historia gráfica de Soacha n.º 43. <https://soachailustrada.com/2013/06/historia-grafica-de-soacha-43/>.

TOPTEC. (2021). No Title. <https://camacolvalle.org.co/staff-member/toptec-s-a/>.

Virta, R. L. (2006). *Worldwide asbestos supply and consumption trends from 1900 through 2003 Circular 1298 Worldwide Asbestos Supply and Consumption Trends from 1900 through 2003*. U.S. Geological Survey. Circular 1.

Wroble, J. (2010). Environmental monitoring for asbestos: Sumas mountain asbestos site, selected residential properties. Bulk sampling and analysis, activity based sampling, surface water sampling. U.S. EPA.

Wroble, J., Frederick, T., Frame, A. y Vallero, D. (2017). Comparison of soil sampling and analytical methods for asbestos at the sumas mountain asbestos site-working towards a toolbox for better assessment. *PLoS One*, 12(7), E0180210. doi:<https://doi.org/https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180210>.

Directorio de autores

Juan Pablo Ramos-Bonilla

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes, Colombia.

María Fernanda Cely-García

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes, Colombia.

Benjamin Lysaniuk

Instituto de Investigación para el Desarrollo (IRD - MÀD DU CNRS), UMR PRODIG, Aubervilliers, Francia.

Margarita Giraldo

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes, Colombia.

Roberto Pasetto

Departamento de Ambiente y Salud, Instituto Nacional de Salud, Roma, Italia. Centro Colaborador de la Organización Mundial de la Salud en Salud Ambiental y Sitios Contaminados, Instituto Nacional de Salud, Roma, Italia. <https://www.iss.it/en/who-cc-for-environmental-health-in-contaminated-sites>

Pietro Comba

Departamento de Ambiente y Salud, Instituto Nacional de Salud, Roma, Italia.
Centro Colaborador de la Organización Mundial de la Salud en Salud Ambiental
y Sitios Contaminados, Instituto Nacional de Salud, Roma, Italia. <https://www.iss.it/en/who-cc-for-environmental-health-in-contaminated-sites>

Daniela Marsili

Departamento de Ambiente y Salud, Instituto Nacional de Salud, Roma, Italia.
Centro Colaborador de la Organización Mundial de la Salud en Salud Ambiental
y Sitios Contaminados, Instituto Nacional de Salud, Roma, Italia. <https://www.iss.it/en/who-cc-for-environmental-health-in-contaminated-sites>

Agata Mazzeo

Departamento de Historia y Culturas, Universidad de Boloña, Italia.

Benedetto Terracini

Profesor jubilado de Bioestadística, Universidad de Turín, Italia.

María Camila Rodríguez

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes, Colombia.

Rocío del Pilar López Panqueva

Departamento de Patología y Laboratorios, Fundación Santa Fe de Bogotá, profesor clínico asociado, Facultad de Medicina, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.

Margarita Baldión

Departamento de Patología y Laboratorios, Fundación Santa Fe de Bogotá, profesor clínico asociado, Facultad de Medicina, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.

Diana Cañón

Departamento de Patología y Laboratorios, Fundación Santa Fe de Bogotá, profesor clínico asociado, Facultad de Medicina, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.

Luis Gerardo García-Herreros

Sección de Cirugía Torácica, Departamento de Cirugía, Fundación Santa Fe de Bogotá, Bogotá, Colombia.

Bibiana Pinzón

Departamento de Imágenes Diagnósticas, Fundación Santa Fe de Bogotá, Bogotá, Colombia.

Yordi Alejandro Silva

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes, Colombia.

Esta publicación se compuso en la tipografía Adobe Garamond Pro.
Se publicó en Bogotá, en noviembre del 2023.