



NUEVAS REALIDADES PARA LA EDUCACIÓN EN INGENIERÍA:
CURRÍCULO, TECNOLOGÍA, MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO

13 - 16
DE SEPTIEMBRE

2022

CARTAGENA DE INDIAS,
COLOMBIA



Metodología para la identificación de tejas de asbesto cemento a través de imágenes hiperespectrales en la ciudad de Cartagena

María Angélica Márquez De León, Daniela Andrea Vélez Clavijo

**Universidad de Cartagena
Cartagena de Indias, Colombia**

Resumen

El asbesto es uno de los componentes del fibrocemento, un material de construcción que permite mayor resistencia al calor es fuerte y no es conductor de electricidad. No obstante, se ha comprobado que las fibras de este mineral son cancerígenas para el ser humano.

Este trabajo tiene como finalidad reportar una metodología para determinar la distribución espacial de las cubiertas de asbesto-cemento a través de imágenes hiperespectrales en la zona urbana de la ciudad de Cartagena. Se recolectarán muestras de cubiertas con un tamaño de 40 cm x 15 cm en las zonas de estudio y a través de la espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FTIR), se obtendrá un espectro infrarrojo de absorción o emisión del material conocido como Firma espectral. Adicionalmente, se tomarán muestras de tamaño 1 cm x 1 cm para la realización de análisis de microscopía de luz polarizada (PLM) para determinar si estas muestras poseen asbesto, luego, conociendo este dato, se calibrará un escáner conocido como HySpex Mjøltnir VS-620, el cual cubre el rango espectral de 400 a 2500 nm, utilizando 500 bandas en esta, lo cual permite que se obtenga una mejor eficacia.

Estas muestras tomadas en campo, servirán como input para el algoritmo de identificación del software ENVI, el cual utiliza un clasificador denominado SAM (Spectral Angel Mapper, por sus siglas en inglés), que acoplado al software ArcGis se realizará el mapeo de los techos de fibrocemento en el área de estudio.

Cabe resaltar, que, para la obtención de las imágenes, se realizará un sobrevuelo en avioneta en la ciudad y posteriormente, se llevará a cabo el postprocesamiento de estas imágenes para así evaluar el estado de las imágenes y realizar las correcciones pertinentes.

Con esta metodología, se pretende brindar una herramienta a las entidades competentes para el manejo de forma segura del material, además de mostrar una forma más eficaz de identificar elementos sin estar en contacto con ellos, como es en el caso de las tejas de asbesto cemento; cabe mencionar que no se han realizado investigaciones que desarrollen esta metodología en el continente americano.

Palabras clave: imágenes hiperespectral; asbesto; PLM; FTIR; Cartagena; ENVI; SAM

Abstract

Asbestos is one of the components of fiber cement, a construction material that allows greater resistance to heat, is strong and does not conduct electricity; however, it is dangerous to people's health. It has been proven that these minerals are carcinogenic to humans due to the fibers they release.

The purpose of this work is to apply a methodology to determine the spatial distribution of asbestos-cement roofs through hyperspectral images in the urban area of the city of Cartagena. To obtain these images, samples of roofs with a size of 40 cm x 15 cm will be randomly collected in the study areas and through Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), an infrared spectrum of absorption or emission of the material known as spectral signature will be obtained. Additionally, samples of size 1 cm x 1 cm will be taken for polarized light microscopy (PLM) analysis to determine if these samples have asbestos, then, knowing this data, a scanner known as HySpex Mjolnir VS-620 will be calibrated, which covers the spectral range from 400 to 2500 nm, using 500 bands in this one, which allows to obtain a better efficiency.

These samples taken in the field will serve as input for the identification algorithm of the ENVI software, which uses a classifier called SAM (Spectral Angel Mapper), which, coupled to the ArcGis software, will map the fiber cement roofs in the study area.

It should be noted that, in order to obtain the images, an overflight of the city by light aircraft will be carried out and later, the post-processing of these images will be carried out to evaluate the state of the images and make the pertinent corrections.

With this methodology, it is intended to provide a tool to the competent entities for the safe handling of the material, in addition to showing a more effective way to identify elements without being in contact with them, as in the case of asbestos cement tiles; it is worth mentioning that there have been very few investigations that perform this methodology and therefore this analysis in general making this issue.

Keywords: hyperspectral imaging; asbestos; PLM; FTIR; Cartagena; ENVI; SAM



1. Introducción

La palabra Asbesto se utiliza para referirse a un conjunto de seis minerales fibrosos de silicato: crisotilo, crocidolita, amosita, antofilita, actinolita y tremolita. Se ha comprobado que el asbesto es un mineral que se presenta en forma de fibra y es cancerígeno para el ser humano. Este material afecta principalmente los pulmones. Sin embargo, también puede provocar enfermedades en el estómago, ovarios, laringe, entre otros, (American cancer Society, 2015).

El amianto se utilizaba en las industrias y en usos domésticos como las tejas de las viviendas, colegios, en losas para el piso, tuberías y en la industria de los frenos de automotriz y a causa del gran daño que este representa, se ha prohibido su uso desde el siglo XX, siendo desde la década de los ochenta hasta hoy, un total de 64 países en el mundo que han prohibido totalmente la explotación, uso y comercialización de todos los tipos de asbesto (Guerrero, Bernal, Juan, 2018). Entre los años setenta y los noventa en Europa, el amianto se utilizó en gran medida tanto en contextos industriales como domésticos, debido a su resistencia física y química, así como a sus propiedades de aislamiento térmico y acústico. Su uso era muy común en tuberías, baldosas, textiles y también en material para techos (Frassy et al., 2014).

En 1984, Israel se convirtió en el primer país en el mundo en prohibir el uso del asbesto en su territorio, luego países como Suecia, Islandia y Noruega lo prohibieron de manera parcial en 1982, 1983, 1984, respectivamente; en Estados Unidos para 1973 y 1977 se colocaron medidas regulatorias, con esto, entre 1986 y 2005 hubo un aumento significativo del número de países que optaron prohibir o regular el uso de este mineral (Guerrero, Bernal, Juan, 2018), cabe resaltar que en Colombia, el uso de asbesto fue prohibido a través de la Ley 1968 de 2019, en la cual prohíbe a partir de enero de 2021 la explotación, producción, comercialización, distribución o exportación de cualquier variedad de asbesto. Sin embargo, a pesar de que ya no se utiliza este material, aún sigue presente en las edificaciones antiguas, principalmente en las tejas.

En Cartagena se puede evidenciar la cantidad de viviendas, colegios, hospitales e industrias que aún conservan estas tejas y que representa un gran peligro para la salud.

Para identificar las tejas de asbesto en la ciudad de Cartagena, es importante la utilización de la teledetección, debido que se obtienen datos de la superficie terrestre a partir de plataformas espaciales. El uso de la teledetección ha demostrado ser un buen instrumento para identificar y evaluar el estado de los tejados (Tommasini et al., 2019)

En este proyecto de investigación, se realizará un muestreo de las tejas en las zonas de estudio con el fin de reconocer las tejas de amianto, para lo cual se usarán imágenes multispectrales y el software entrenado ENVI Classic 5.6.1.

2. Marco referencial

Se ha utilizado la teledetección para la identificación de minerales ((Bhadra et al., 2020)(Lei et al., 2018)Camacho-Velasco et al., 2015) mapeo litológico (Thannoun, 2021;(Fan et al., 2021)(Liu et



al., 2021) y geología ambiental debido a la contaminación por zonas mineras, (Dkhala et al., 2020).

También ha sido utilizado para conocer las coberturas vegetales que existen, determinar cambios producidos por incendios, evaluar el estrés hídrico de las plantas o el estrés producido por algún contaminante del agua o de la atmosfera, además ha sido utilizada para la detección temprana de las manchas de petróleo, (Maianti et al., 2014).

En los últimos años se ha procedido a utilizar esta herramienta para la identificación de tejas de asbesto cemento debido al impacto que este mineral ha tenido en la salud humana y además evaluar el estado de deterioro de los tejados, llegando a demostrar excelentes resultados ((Tommasini et al., 2019);(Szabó et al., 2014);(Cilia et al., 2015).

La teledetección se ha utilizado en países de Europa, principalmente Italia, como el llevado a cabo por (Bassani et al., 2007) sobre las áreas industriales de la ciudad de Follonica y la provincia de Rimini, para la identificación de las cubiertas de asbesto-cemento utilizando la metodología Spectral Feature Fitting (SFF) que se encarga de comparar el espectro de píxeles de la imagen con un espectro de referencia de una biblioteca espectral o un espectro de campo/laboratorio al examinar sus características de absorción específicas después de la eliminación continua, se pudo determinar que la identificación de los tejados era correcta entre un 80%-90%.

De igual forma en el 2014 se realizó otro estudio por parte de (Frassy et al., 2014) donde se realizó un sobrevuelo en la región autónoma del valle de Aosta, al noroeste de Italia, utilizando el sensor hiperespectral MIVIS, además se hizo un exhaustivo estudio de campo donde se obtuvieron 917 tejados de asbesto-cemento, con el fin de calibrar el clasificador Spectral Angle Mapper (SAM), en este estudio se obtuvo una precisión de 75% correcta de los tejados, mostrando la eficacia del método, otro estudio realizado donde se utilizó esta metodología fue por (Cilia et al., 2015) donde se obtuvieron precisiones hasta del 89%, lo que expresa la certeza de esta herramienta.

Otro estudio aplicativo donde se utilizó el mismo clasificador SAM, llevado a cabo por Szabó et al., (2014) en Debrecen, en el este de Hungría utilizando una cámara hiperespectral Aisa EAGLE II se obtuvieron precisiones bajas que se podrían deber a la no toma de datos en campo sin embargo no se especifica si se tomaron muestras de referencia o no.

Con el pasar del tiempo, los estudios referentes a la teledetección en tejas de asbesto-cemento han nutrido a los estudios venideros para prevenir errores en la ejecución de la obtención de los resultados, un ejemplo claro es el relacionado con la resolución espacial en el momento de la toma de las imágenes, que se ha demostrado que entre menor sea la resolución espacial, la precisión va a ser mayor debido a que se clasificarían cubiertas independientemente del tamaño del tejado, por ejemplo Frassy et al., (2014) establece que los datos MIVIS en el Valle de Aosta al tener una resolución espacial de 4 m y suponer que se necesita al menos una ventana de 3x3 píxeles que contenga asbesto para que se dé una detección correcta, solo se clasificarían con confianza razonable los tejados de tamaño superior a 144 m². Estas suposiciones pueden influir en el momento de calcular los errores puesto que se dio una clasificación correcta utilizando el algoritmo SAM de



43% independiente del tamaño de los tejados y del 75% al tener en cuenta solo los tejados de 3x3 píxeles.

Además de los clasificadores mencionados anteriormente se han presentado otros como: Support Vector Machine (SVM), clasificación de objetos o análisis de imágenes basadas en objetos (OBIA), Object-based Image Analysis, por sus siglas en inglés, árboles de decisiones y Random Forest (RF), análisis de función discriminante (AFD), método de máxima verosimilitud (MLC).

Esto expresado anteriormente evito que otros estudios como el llevado a cabo por Cilia et al., (2015) cometieran el mismo error y obteniendo así precisiones hasta del 89%.

Con el paso del tiempo la teledetección en temas de determinación de distribución de tejas de asbesto-cemento en el mundo ha sido utilizada, no en gran cantidad, pero ha sido un tema en apogeo en el mundo, llegando a mostrar, así como se ha usado por distintos autores, entre los más destacados en el tema, se encuentran en la Tabla 1.

Tabla 1. Estudios realizados para identificación de tejas de asbesto-cemento.

Imagen usada	Clasificador	Resolución espacial	Superficie	Datos de entrenamiento	Precisión	Fuente
MIVIS	SFF	3 m	no especifica	16	80%-90%	(Bassani et al., 2007)
MIVIS	SAM	4 m	3262 km2	917	43%	(Frassy et al., 2014)
Aisa EAGLE II	SAM, SVM	1 m	7 km2	No especifica	SAM (OA: 59,83%, kappa:0,54),SVM (OA: 79,93%; kappa: 0,77)	(Szabó et al., 2014)
MIVIS	SAM	3 m	65 km2	1050	Precisión del usuario: 86% Precisión del productor: 89%	(Cilia et al., 2015)
WorldView-2	RF, SVM, Knn, Bayes	2 m	la primera zona de estudio tiene 3 km2 y la segunda tiene aproximadamente 7km2	No especifica	93.10% en la primera área y en la segunda imagen la precisión global fue de 90.74%	(Gibril et al., 2017)
WorldView-2	LDFA, QDFA, RF	2 m	no especifica (zona pequeña)	350	Mayor al 85%	(Abriha et al., 2018)
WorldView-3	Plugin de QGIS denominado RoofClassify	imágenes pancromaticas: 0.31 m 8 bandas VNIR : 1.24 m 8 bandas SWIR: 3.7 m	no especifica	Datos recogido del sistema de información sanitaria para la prevención colectiva (SISPC)	81.77%	(Tommasini et al., 2019)
WorldView-3	SVM Y DT	imágenes pancromaticas: 0.31 m 8 bandas VNIR : 1.24 m 8 bandas SWIR: 3.7 m	1.2 km2	No se especifica, pero si se seleccionaron muestras de entrenamiento.	SVM-LS : 87% DT-LS: 70%	(Norman et al., 2020)
RGB-CIR	CNN	25 cm	127.4 km2	3124	89%	(Krówczyńska et al., 2020)

Fuente: Autores, 2022.

En Colombia actualmente no se han realizado estudios referentes a teledetección en identificación de tejas de asbesto-cemento.



Para el estudio de este proyecto indispensable hacer referencia a la teledetección o también llamada sensado remoto que es la principal herramienta a la que va dirigida el proyecto.

El sensado remoto (remote sensing) hace referencia a la técnica empleada para adquirir información sobre un objeto o fenómeno sin hacer contacto físico con él, a través de sensores ubicados en plataformas aerotransportadas (aviones tripulados o no tripulados-UAV) o aeroespaciales (satélites). (López Vargas; Valdelamar Martínez, 2019)

Estos sensores desempeñan un papel importante en la adquisición de los datos, donde estos se adquieren a partir de la energía electromagnética que emanan o reflejan estos objetos, la energía electromagnética es aquella que se propaga en el vacío debido a la interacción del campo eléctrico y el magnético, esta energía está compuesta por partículas energizadas llamadas cuantos. (López Vargas; Valdelamar Martínez, 2019)

La energía electromagnética viaja en forma de ondas, que se desplazan a partir de una frecuencia, amplitud y longitud de onda; dentro del espectro electromagnético las longitudes de onda están reunidas y se subdividen en grupos de familias y elementos en que se representan, como se muestra en la Figura 1.

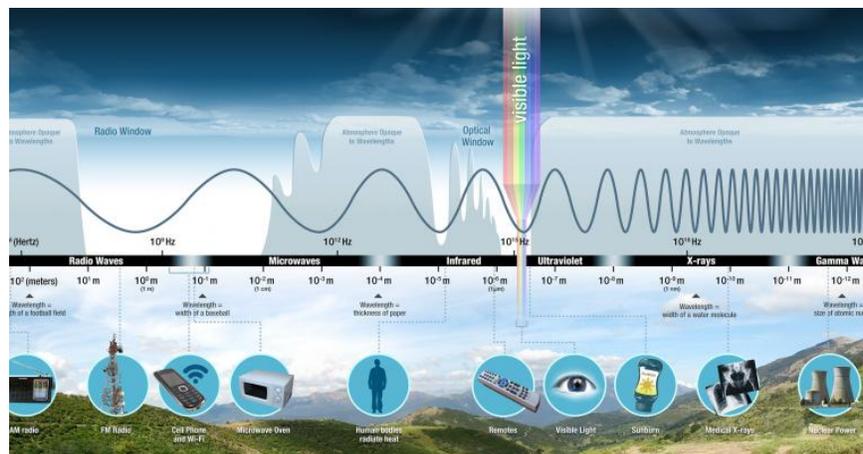


Figura 1. Espectro electromagnético.

Fuente: (National Aeronautics and Space Administration, 2010)

La reflexión de la luz de los materiales y las superficies ocupan un lugar importante en las imágenes espectrales usadas para los sensores remotos, el primer concepto a tener claro es la irradiancia que expresa la energía por unidad de tiempo que incurre sobre una superficie, material, etc., También tenemos la reflectancia, la cual es un número entre 0 y 1 que define la luz reflejada por la superficie; para abarcar todas estas definiciones en conjunto se parte desde el momento en el que ocurre la irradiancia, donde parte del material absorbe, transmite y refleja la luz de una manera diferente, todas estas porciones expresadas en longitud de onda de absorción, transmisión y reflexión varían de acuerdo al comportamiento espectral de los distintos materiales que se logren encontrar por el sensor, por lo que al variar la reflectancia en función de la longitud de onda



se produce la firma espectral (Figura 2) que se denomina como la medida cuantitativa de las propiedades espectrales de un objeto en el rango del espectro electromagnético anteriormente explicado. (Camacho-Velasco et al., 2015)

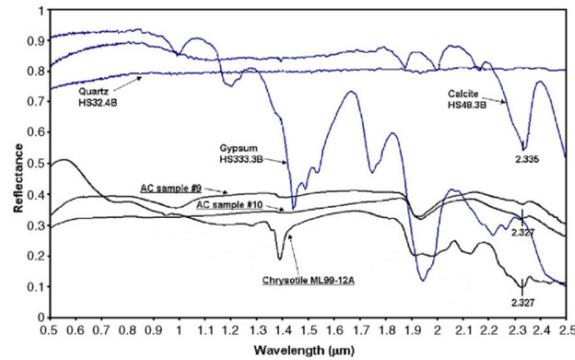


Figura 2. Comparación entre las características de absorción detectadas por la medición de las muestras de amianto-cemento (rangos espectrales VNIR y SWIR) y otros minerales presentes en las muestras: crisotilo, calcita, yeso y cuarzo.
Fuente: (Judyta Książek, 2014)

La resolución de un sensor depende del potencial que tenga esta para registrar información de cualquier superficie, existen 4 tipos de resoluciones, en las que está la espacial, donde el pixel es la unidad mínima que conforma la imagen, la resolución espectral que se basa en el número y el ancho de las bandas espectrales y estos datos se obtienen a partir de 4 técnicas principales para adquirir datos medibles de un objeto, mediante imágenes hiperespectrales, multiespectrales, espectroscopia e imágenes RGB y sus diferencias se evidencian en la Tabla 2 (Adão et al., 2017), donde cada I significa mayor información.

También se tiene la resolución radiométrica que es comparable al número de tonos gris en una fotografía blanco y negro, y se mide a partir de bits. Por último, se tiene la resolución temporal que se caracteriza por un ciclo de repetición o intervalo de tiempo entre adquisiciones de imágenes sucesivas de una misma porción de superficie.

Tabla 2..Diferencias entre las distintas técnicas de obtención de datos medibles de un objeto.

	Información espectral	Información espacial
Imágenes hiperespectrales	III	III
Imágenes multiespectrales	II	III
Espectroscopia	III	I
Imagen RGB	I	III

Fuente: (Adão et al., 2017)



3. Metodología propuesta

Para definir las cubiertas de asbesto presentes en la zona de estudio que representa el sector urbano de Cartagena de Indias se aplica la siguiente metodología que pretende lograr los objetivos planteados y realizar las discusiones y conclusiones encontradas a partir de los resultados obtenidos. Para la realización del mapeo final de las cubiertas de asbesto, se requiere realizar una serie de actividades y recolección de muestras que identifiquen cuáles son las cubiertas que poseen el material, para esto, se usarán imágenes de teledetección que permitan cubrir las zonas y poder delimitar correctamente. Se recolectarán muestras aleatoriamente y se enviarán a los laboratorios para ser analizadas, lo cual especificarán cuáles puntos son los aceptados para el mapa de identificación de asbesto y cuáles no poseen el material.

Esta metodología a usar representa una ventaja significativa en la actualidad, ya que permite obtener información de forma indirecta sin necesidad de conocer todos los datos de campo en su totalidad, además que podría aplicarse a infinidad de disciplinas y proyectos investigativos debido a la amplia gama dentro del rango espectral que maneja, permitiendo así la detección de muchos materiales, minerales entre otras cosas.

Una desventaja clara sería el costo que se manejaría para obtener estas precisiones significativas dentro del proyecto, sin embargo, funcionaria como una información que podría ser usada para infinidad de estudios más y no solo centrado en el caso de actual de investigación.

Conjunto de datos de entrada

Primeramente, para la obtención de las imágenes hiperespectrales se realizará un sobrevuelo en avioneta que cubrirá gran parte de la zona urbana de ciudad, utilizando el sensor HySpex Mjolnir VS-620, el cual trabaja en toda la gama VNIR-SWIR, además cubre el rango espectral desde los 400 a 2500 nm, conteniendo 500 bandas en total.

Posteriormente, se recolectarán aleatoriamente muestras de cubiertas (tamaño 1x1 cm) alrededor del área de estudio para identificar la presencia de asbesto-cemento en las cubiertas, a través de análisis de PLM (Microscopía de luz polarizada) realizados por un laboratorio especializado en estos ensayos, luego estas muestras serán georreferenciadas en el software ArcGIS Survey.

Estas muestras servirán como input para el algoritmo de identificación del software ENVI® (acoplado al software ArcGis®) con el cual se realizará el mapeo de los techos de fibrocemento en el área de estudio.

A través de la Espectroscopía Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR, por sus siglas en inglés) se obtendrá un espectro infrarrojo de absorción o emisión del material, llamado también Firma Espectral del material según el estándar ASTM G178 - 16.

Conociendo la Firma Espectral del material se calibrará un escáner Multiespectral, conocido como HySpex Mjolnir VS-620.



Preprocesamiento

Luego de obtener las imágenes se realizarán correcciones atmosféricas, ortótropos y exclusión de bandas redundantes, eliminar bandas ruidosas, BRDF (Bidirectional Reflectance Distribution Function, por sus siglas en inglés), además debe realizarse la georreferenciación.

Clasificación

Se utilizará la aplicación ENVI la cual trabaja con un algoritmo o clasificador que funciona en base a datos de entrenamiento, conocido como SAM, todo esto con el fin de generar la clasificación de las cubiertas en la zona de estudio.

Por último, con la información obtenida de la clasificación, se elaborarán los mapas de distribución de cubiertas asbesto-cemento en toda la zona de estudio.

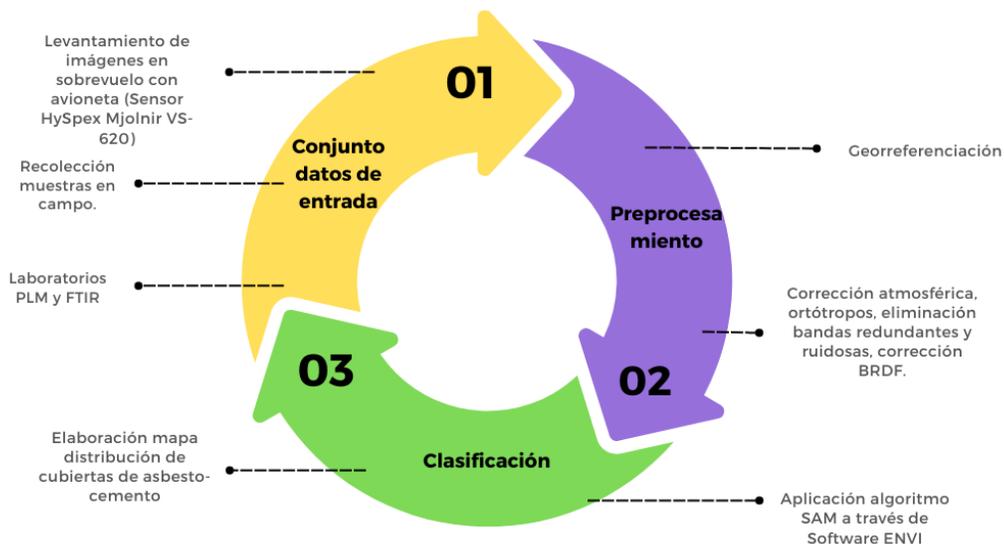


Figura 3. Diagrama metodología.

Fuente: Autores, 2022.

4. Conclusiones

Las imágenes hiperespectrales y multiespectrales representan una herramienta de medición de datos eficaz en momentos donde acceder a datos del terreno en su totalidad es difícil, en la actualidad la teledetección se usa para una gran amplitud de temas, desde la identificación de geología, generación de mapas litológicos, visualización de la cobertura vegetal y en identificación de materiales como tejas de asbesto-cemento que refleja el principal tema de este proyecto.

Debido a varias investigaciones llevadas a cabo a lo largo de los años se ha demostrado el peligro que desempeña este mineral en los seres humanos, por esto es de vital importancia conocer el

grado de distribución espacial al que está expuesto la comunidad, concientizar y que las autoridades competentes puedan proporcionar una medida de mitigación o eliminación del material de una forma segura.

Por otra parte, cabe resaltar que la metodología a usar brinda una perspectiva favorecedora debido a la resolución bastante alta que presentarían las imágenes, además el rango de longitud de onda en que se operaría sería alto pudiendo así generar una precisión mayor a la hora de identificar el mineral, dándole la oportunidad de disminuir el error de falsos positivos o viceversa.

Este proyecto generaría un input tanto en Colombia como en países de Latinoamérica debido a la gran innovación que contribuiría al estudio de múltiples temas, fenómenos, investigaciones en distintas ramas de la ciencia y no solamente en el estudio de minerales como el asbesto-cemento.

5. Referencias

Artículos de revistas

- Adão, T., Hruška, J., Pádua, L., Bessa, J., Peres, E., Morais, R., & Sousa, J. J. (2017). Hyperspectral imaging: A review on UAV-based sensors, data processing and applications for agriculture and forestry. *Remote Sensing*, 9(11). <https://doi.org/10.3390/rs9111110>
- Bassani, C., Cavalli, R. M., Cavalcante, F., Cuomo, V., Palombo, A., Pascucci, S., & Pignatti, S. (2007). Deterioration status of asbestos-cement roofing sheets assessed by analyzing hyperspectral data. *Remote Sensing of Environment*, 109(3), 361–378. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.01.014>
- Bhadra, B. K., Pathak, S., Nanda, D., Gupta, A., & Rao, S. S. (2020). Spectral characteristics of talc and mineral abundance mapping in the Jahazpur Belt of Rajasthan, India using AVIRIS-NG data. *International Journal of Remote Sensing*, 41(22), 8754–8774. <https://doi.org/10.1080/01431161.2020.1783710>
- Camacho-Velasco, A., Vargas-García, C. A., Rojas-Morales, F. A., Castillo-Castelblanco, S. F., & Arguello-Fuentes, H. (2015). Aplicaciones y retos del sensado remoto hiperespectral en la geología colombiana. *Revista Facultad de Ingeniería*, 24(40), 17–29. <https://doi.org/10.19053/01211129.3845>
- Cilia, C., Panigada, C., Rossini, M., Candiani, G., Pepe, M., & Colombo, R. (2015). Mapping of asbestos cement roofs and their weathering status using hyperspectral aerial images. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4(2), 928–941. <https://doi.org/10.3390/ijgi4020928>
- Dkhala, B., Mezned, N., Gomez, C., & Abdeljaouad, S. (2020). Hyperspectral field spectroscopy and SENTINEL-2 Multispectral data for minerals with high pollution potential content estimation and mapping. *Science of the Total Environment*, 740. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140160>
- Fan, Y., Wan, Y., Wang, H., Yang, X., Liang, M., Pan, C., Zhang, S., Wang, W., & Tan, F. (2021). Application of an airborne hyper-spectral survey system casi/sasi in the gold-silver-lead-zinc ore district of huaniushan, Gansu, China. *Geologia Croatica*, 74(1), 73–83. <https://doi.org/10.4154/gc.2021.04>
- Frassy, F., Candiani, G., Rusmini, M., Maianti, P., Marchesi, A., Nodari, F. R., Via, G. D., Albonico, C., & Gianinetta, M. (2014). Mapping asbestos-cement roofing with hyperspectral remote sensing over a large mountain region of the Italian western alps. *Sensors (Switzerland)*, 14(9), 15900–15913. <https://doi.org/10.3390/s140915900>
- Judyta Książek. (2014). *Methods for Detection of Asbestos-Cement Roofing Sheets*. 8(3), 59–76. <https://doi.org/dx.doi.org/10.7494/geom.2014.8.3.59>



- Lei, L., Jilu, F., Benoit, R., Xinliang, X., Jun, Z., Ling, H., Junlu, Y., & Guangli, R. (2018). Mapping alteration using imagery from the Tiangong-1 hyperspectral spaceborne system: Example for the Jintanzi gold province, China. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 275–286. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.03.013>
- Liu, H., Wu, K., Xu, H., & Xu, Y. (2021). Lithology classification using TASI thermal infrared hyperspectral data with convolutional neural networks. *Remote Sensing*, 13(16). <https://doi.org/10.3390/rs13163117>
- Maianti, P., Rusmini, M., Tortini, R., Dalla Via, G., Frassy, F., Marchesi, A., Rota Nodari, F., & Gianinetto, M. (2014). Monitoring large oil slick dynamics with moderate resolution multispectral satellite data. *Natural Hazards*, 73(2), 473–492. <https://doi.org/10.1007/s11069-014-1084-9>
- Szabó, S., Burai, P., Kovács, Z., Szabó, G., Kerényi, A., Fazekas, I., Paládi, M., Buday, T., & Szabó, G. (2014). Testing algorithms for the identification of asbestos roofing based on hyperspectral data. *Environmental Engineering and Management Journal*, 13(11), 2875–2880. <https://doi.org/10.30638/eemj.2014.323>
- Thannoun, R. G. (2021). Mapping lithological and mineralogical units using hyperspectral imagery. *Malaysian Journal of Science*, 40(1), 93–106. <https://doi.org/10.22452/mjs.vol40no1.8>
- Tommasini, M., Bacciottini, A., & Gherardelli, M. (2019). A QGIS tool for automatically identifying asbestos roofing. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(3). <https://doi.org/10.3390/ijgi8030131>
- López Vargas; Valdelamar Martínez. (2019). ALGORITMO EMPÍRICO PARA LA ESTIMACIÓN DE TURBIDEZ Y SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES MEDIANTE EL USO DE IMÁGENES SATELITALES EN LA CIÉNAGA DE LA VIRGEN, CARTAGENA, COLOMBIA. 45(45), 95–98.

Fuentes electrónicas

- American cancer Society. (2015). *El asbesto y el riesgo de cáncer*. [https://www.cancer.org/es/saludable/causas-del-cancer/asbesto.html#:~:text=La IARC clasifica el asbesto,de voz\) y los ovarios](https://www.cancer.org/es/saludable/causas-del-cancer/asbesto.html#:~:text=La IARC clasifica el asbesto,de voz) y los ovarios).
- National Aeronautics and Space Administration, S. M. D. (2010). *Introduction to the Electromagnetic Spectrum*. http://science.nasa.gov/ems/01_intro
- Guerrero, Bernal, Juan, C. (2018). Parte 1: La prohibición y la regulación del uso del asbesto en el mundo. 49.

Sobre los autores

- **María Angélica Márquez De León:** Estudiante Pregrado Ingeniería Civil, Universidad de Cartagena. Profesor Titular: Manuel Saba. mmarquezd2@unicartagena.edu.co
- **Daniela Andrea Vélez Clavijo:** Estudiante Pregrado Ingeniería Civil, Universidad de Cartagena. Profesor Titular: Manuel Saba. dvelezc@unicartagena.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2022 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)

