



Geoquímica de pigmentos endolíticos en yesos expuestos a alta radiación UV en Colombia: Implicaciones astrobiológicas

Julián Andreas Corzo Acosta

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias, Departamento de Geociencias
Bogotá, Colombia
2025

Geoquímica de pigmentos endolíticos en yesos expuestos a alta radiación UV en Colombia: Implicaciones astrobiológicas

Julian Andreas Corzo Acosta

Tesis o trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Doctor en Geociencias



Directora:

Susana Salazar Jaramillo (Ingeniera geóloga, M. Sc. Ph. D.)



Codirector:

Ariel Oswaldo Cadena Sánchez (Químico, M. Sc., Ph. D.)

Línea de Investigación: Geomicrobiología

Grupo de Investigación: Ciclos Biogeoquímicos

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias, Departamento de Geociencias

Bogotá, Colombia

2025

(Dedicatoria)

Cuando tenía 7 años mientras veíamos un capítulo de Cosmos, mi abuela se dirigió a mí con la siguiente oración: “Yo quiero que mijito se convierta en un gran científico, como Carl Sagan”

A mi abuela, María Inés Niño de Acosta

Porque su deseo se convirtió en una llama que guio mi camino por la senda del conocimiento

A mis padres María del Pilar Acosta Niño y Jimmy Antonio Corzo Salamanca, cuyo apoyo moral, ético y académico ha sido fundamental para forjar la persona que soy hoy.

Pero no, no me basta con el sueño

Quiero llegar a su altura

Quiero tocar su figura

Con la ciencia como empeño

Volaré, volaré al jardín del cielo,

en un pájaro violento,

en un corredor del viento,

en un caballo de fuego.

Silvio Rodríguez - En el jardín de la noche

El cosmos es todo lo que es, todo lo que fue, todo lo que será.

Nuestras contemplaciones más tibias del Cosmos nos conmueven, un escalofrío recorre nuestro espinazo, la voz se nos quiebra. Hay una vaga sensación, como un recuerdo lejano de desplome desde una gran altura.

Sabemos que nos estamos acercando al mayor de los misterios.

Alguna parte de nuestro ser nos dice, que esta es nuestra cuna. Deseamos regresar porque el cosmos está en nosotros.

Estamos hechos de estrellas, somos el medio de que el cosmos se conozca a sí mismo.

Carl Sagan – Cosmos, la Orilla del Océano Cósmico

Agradecimientos

A mis directores Susana Salazar Jaramillo y Ariel Oswaldo Cadena Sánchez por darme su confianza, apoyo, conocimiento y herramientas para culminar exitosamente este doctorado. Esto no habría sido posible sin ustedes.

A la Universidad Nacional de Colombia por brindarme no solo la educación necesaria para realizar esta investigación, sino también por proveer espacios culturales y deportivos que me permitieron desarrollarme como persona y como ser humano íntegro.

Un agradecimiento especial a la Facultad de Ciencias de la sede Bogotá por haber financiado esta investigación a través del proyecto 60270 y a la Facultad de Ciencias de la sede Medellín por haber financiado esta investigación a través del proyecto 60762 de la plataforma HERMES. Estos recursos se destinaron a salidas de campo, ponencias en congresos, ensayos de laboratorio y honorarios para el estudiante que presenta esta tesis doctoral.

Al Departamento de Geociencias de la Universidad Nacional de Colombia por brindarme apoyo económico a través de la Beca Auxiliar Docente y Beca Exención de derechos académicos y por proveer los laboratorios necesarios (Espectroscopía Raman, Petrografía, FRX, MEB y Microsonda) para desarrollar esta investigación. Al profesor Javier Guerrero por el facilitar apoyo tecnológico para llevar a cabo esta investigación

Al Departamento de Biología de la Universidad Nacional de Colombia y al profesor Juan Carlos Montenegro por facilitar y abrirme el espacio de trabajo en el laboratorio de cultivo de algas LAUN, el cual fue fundamental para cumplir a cabalidad la presente investigación.

A Anderson por su ayuda para tomar las imágenes de MEB y a don Armando por su valioso apoyo para ayudarme a la realización de las secciones delgadas. A Carlos Rodríguez, Juan David Vélez y a Kevin Granados por su apoyo y siempre amable disponibilidad para obtener los resultados de DRX. A los profesores Jimmy Fernández y Carlos Sánchez por sus valiosos aportes para la interpretación de la petrografía. A John Edward Cano y a la profesora Ibonne García por su apoyo en el cultivo de los microorganismos y extracción y secuenciación de ADN respectivamente. Al profesor Carlos Zuluaga y a Jesús Mosquera por facilitarme y apoyarme en el uso de la microsonda respectivamente.

Al Profesor Andrés Ochoa Jaramillo, de la sede Medellín por su colaboración en la obtención de datos de radiación solar y UV, cruciales para la discusión y análisis de esta tesis doctoral.

A Jimmy Corzo, profesor Titular del Departamento de Estadística, Universidad Nacional de Colombia, por sus grandes aportes en el tratamiento estadístico de los datos. Finalmente, a mi madre María del Pilar Acosta, pues sin sus cuidados, apoyo y cariño no habría podido llegar hasta donde estoy ahora.

Resumen

Geoquímica de pigmentos endolíticos en yesos expuestos a alta radiación UV en Colombia: Implicaciones astrobiológicas

El yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) constituye un refugio natural para comunidades microbianas endolíticas, gracias a su capacidad de filtrar la radiación ultravioleta y transmitir luz fotosintéticamente activa. En esta tesis se estudió la diversidad, composición y adaptaciones fotoprotectores de comunidades microbianas endolíticas en depósitos de yeso de Los Santos (Santander), Sáchica (Boyacá) y Chaparral (Tolima), representando un gradiente altitudinal tropical entre 400 y 2200 m s.n.m. Mediante un enfoque multi-analítico que integró espectroscopía Raman, MEB, análisis petrográficos, geoquímicos (DRX, FRX, EMPA) técnica de estriado de placas y metagenómicos, se identificaron pigmentos carotenoides (β -caroteno, licopeno, astaxantina y luteína) y géneros representativos de Cyanobacteriota y Chlorophyta en asociación con Pseudomonadota, Bacteroidota, Planctomycetota, Actinomycetota y Verrucomicrobiota. La comparación entre la geoquímica y la diversidad microbiana mostró que el incremento en el contenido de arcillas se asocia con una disminución en la diversidad, lo que sugiere que estas impurezas pueden actuar como un factor limitante para el crecimiento endolítico. Un análisis factorial múltiple (AFM) integró variables geoquímicas, estructurales y climáticas, demostrando que la composición elemental y la opacidad del yeso median la respuesta microbiana frente a gradientes de radiación y altitud. Estos resultados evidencian que la diversidad endolítica está condicionada por la interacción entre factores mineralógicos y ambientales, y que las comunidades fototróficas desarrollan estrategias de supervivencia basadas en la colonización mineral, la síntesis de pigmentos protectores y la reparación celular. Los resultados de este estudio aportan nuevas perspectivas sobre la bioreceptividad de los yesos en zonas tropicales y refuerza su relevancia como objetivos de exploración de biofirmas para la búsqueda de vida en Marte.

Palabras clave: (Microorganismos Endolíticos, Espectroscopía Raman, Microalgas eucariotas, Cianobacterias, Geoquímica de yesos, Radiación fotosintéticamente Activa (RFA), Análisis Factorial Múltiple, Astrobiología, Marte).