

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y
AGUA



COMPONENTES MINERALES CRISTALINOS PRESENTES EN LA
CUEVA DE LAS LECHUZAS DEL PARQUE NACIONAL TINGO
MARÍA, LEONCIO PRADO

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

PRESENTADO POR:

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Bannia Katherine Acuña Arevalo', is positioned to the right of the 'PRESENTADO POR:' text.

BANNIA KATHERINE ACUÑA AREVALO

2022



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N° 051-2024-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 26 de setiembre de 2022, a horas 07:00 p.m. de la Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

**“COMPONENTES MINERALES CRISTALINOS PRESENTES EN LA
CUEVA DE LAS LECHUZAS DEL PARQUE NACIONAL TINGO MARIA,
LEONCIO PRADO”**

Presentado por la Bachiller ACUÑA AREVALO, **Bannia Katherine**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de “MUY BUENA”.

En consecuencia, la sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA** que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 03 de mayo de 2024

Dr. JOSÉ D. LÉVANO CRISÓSTOMO
PRESIDENTE

Ing. MSc. SANDRO J. RUIZ CASTRE
MIEMBRO



Dr. EMEL A. LÓPEZ VILLANUEVA
MIEMBRO

Ing. MSc. JUAN PABLO RENGIFO TRIGOZO
ASESOR



“Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho”

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 199 - 2024 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de Suficiencia Profesional	
-------	---	------------------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
COMPONENTES MINERALES CRISTALINOS PRESENTES EN LA CUEVA DE LAS LECHUZAS DEL PARQUE NACIONAL TINGO MARÍA, LEONCIO PRADO	BANNIA KATHERINE ACUÑA AREVALO	18 % Dieciocho

Tingo María, 03 de julio de 2024



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Dr. Tomás Menacho Mallqui
JEFE

C.C. Archivo

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y
AGUA



COMPONENTES MINERALES CRISTALINOS PRESENTES EN LA
CUEVA DE LAS LECHUZAS DEL PARQUE NACIONAL TINGO
MARÍA, LEONCIO PRADO

Autor : ACUÑA AREVALO, Bannia Katherine

Asesor : Ing. M. Sc. RENGIFO TRIGOZO, Juan Pablo

Programa : Ciencias básicas

Línea de Investigación : Física y química de suelos

Eje temático : Prácticas y uso de manejo que mejoren la calidad del suelo

Lugar de ejecución : Laboratorio Central de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva

Duración del trabajo : Fecha de inicio : 02/07/2019
Término : 02/01/2020

Financiamiento : Propio :S/. 5550.00

DEDICATORIA

A Dios, por el éxito y la satisfacción de esta investigación, por regalarme salud y bienestar en mi vida, por no dejarme sola en los momentos que más necesitaba y por regalarme el don de la sabiduría para enfrentar los retos y obstáculos que se me presentaron o que se me presenten.

A mis padres, que siempre serán mi motor y motivo, que me apoyaron incondicionalmente en los momentos más difíciles de mi vida, que me inculcaron valores y virtudes para afrontar la vida para seguir adelante. Por todo lo mencionado viviré eternamente agradecida.

A mis hermanos, por confiar en mí y apoyarme en todo momento. A mis abuelitos por creer en mí y por sus sabios consejos y compañía en cada paso de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por la bendición de cada día y permitirme tener y disfrutar de mi familia durante mi formación profesional a todas aquellas personas que contribuyeron en todo lo posible para el desarrollo de la presente tesis.

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva y docentes de la Facultad de Recursos Naturales Renovables, por toda la contribución cultural, social y científica que me han brindado.

A mi asesor, Ing. M. Sc. Juan Pablo Rengifo Trigozo por sus sabias contribuciones en la presente investigación, dedicación constante, apoyo en el desarrollo práctico y por su confianza puesta en mi persona.

A mis jurados de tesis Ing. M. Sc. Emel López Villanueva por el agrado de discutir el enfoque de mi investigación y por la formación académica que me brindaron.

A mis amigos en general, por su apoyo, compañía, leal amistad en todo este largo proceso de la vida universitaria.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Tingo María y su zona kárstica	3
2.1.1. Descripción geográfica y geomorfológica.....	3
2.1.2. Parque Nacional Tingo María	4
2.1.2.1. Creación	4
2.1.2.2. Topografía y fisiografía.....	5
2.1.2.3. Biodiversidad del Parque Nacional Tingo María.....	5
2.1.3. Cueva de las lechuzas	5
2.2. Minerales de cuevas y espeleotemas	6
2.3. Efecto Raman	9
2.3.1. Historia y origen	9
2.3.2. Espectroscopía Raman.....	10
2.4. Antecedentes	11
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
3.1. Lugar de ejecución	14
3.1.1. Lugar de muestreo	14
3.1.2. Clima.....	14
3.1.3. Zona de vida.....	14
3.2. Materiales, equipos y herramientas	14
3.2.1. Muestra de espeleotemas	15

3.2.2. Materiales de campo.....	15
3.2.3. Equipos	15
3.3. Metodología	15
3.3.1. Recolección de muestras de espeleotemas	15
3.3.2. Determinación de la estructura molecular de los minerales cristalinos de espeleotemas de la Cueva de las Lechuzas Tingo María	16
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	18
4.1. Estructura molecular de los componentes minerales cristalinos de espeleotemas de la Cueva de las Lechuzas.....	18
4.2. Identificación los minerales presentes en las espeleotemas de la cueva de las lechuzas Tingo María	19
V. CONCLUSIONES.....	25
VI. PROPUESTA A FUTURO	26
VII. ABSTRACT	27
VIII. REFERENCIAS	28
ANEXO	32

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Minerales identificados en cuevas de yeso en el mundo.....	8
2. Grupos funcionales identificados en la muestra de espeleotemas de la Cueva de las Lechuzas.....	18

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Fotografía tomada de la Cueva de las lechuzas.....	6
2. Trabajos publicados sobre minerales de cuevas, número de minerales de cuevas identificados y las principales revisiones sobre minerales de cuevas publicadas en los últimos 200 años (ONAC y FORTI, 2011).	7
3. Diagrama del desarrollo de la dispersión Rayleigh y Raman.....	11
4. Espectro Raman de la muestra 04 de la Cueva de las Lechuzas	20
5. A) Observación a 10X de la muestra; B) Observación a 50X de la muestra con incrustación de yeso	20
6. Espectro Raman de la muestra 01 de la Cueva de las Lechuzas	21
7. Imagen óptica de cristales de dolomita de la Cueva de las Lechuzas	22
8. Espectro Raman de la muestra 05 de la Cueva de las Lechuzas	22
9. Imagen óptica de cristales de dolomita de la Cueva de las Lechuzas	23
10. Espectro Raman de muestra 02 de la Cueva de las Lechuzas	24
11. Espectro Raman de muestra 06 de la Cueva de las Lechuzas	24
12. Entrada al Parque Nacional Tingo María – Zona Turística Cueva de las Lechuzas	33
13. Medición de puntos de muestreo en la entrada, zona media y final de la Cueva de las Lechuzas.	33
14. Muestreo de Estalagmita en la zona de la entrada en la Cueva de las Lechuzas	34
15. Inserción del formón en estalagmita en la zona de la entada de la Cueva de las Lechuzas.	34
16. Muestreo de estalactitas en la zona de la entrada en la Cueva de las Lechuzas.....	35
17. Muestreo de paredes en la zona intermedia de la Cueva de las Lechuzas.	35

18. Cantidad de muestra necesaria para el análisis en el Espectrómetro Raman del Laboratorio Central de la UNAS **¡Error! Marcador no definido.**
19. Etiquetado de muestras de la Cueva de las Lechuzas..... 36
20. Tamizaje y secado de las muestras para el análisis en el Espectrómetro Raman**¡Error! Marcador no definido.**
21. Muestra de la cueva en porta objeto para el análisis en el espectrómetro Raman**¡Error! Marcador no definido.**
22. Muestra de la cueva lista para el análisis en el espectrómetro Raman..... 36
23. Observación y enfoque de la muestra en el espectrómetro Raman**¡Error! Marcador no definido.**
24. Muestra de la cueva observada a 50X en el espectrómetro Raman 37
25. Observación de los primeros espectros de las muestras de la Cueva de las Lechuzas37

RESUMEN

El presente estudio buscó identificar los componentes minerales presentes en la Cueva de las Lechuzas del Parque Nacional Tingo María, Leoncio Prado mediante el uso de una técnica espectroscópica (Raman), para ello se tiene que determinar la estructura molecular de los minerales cristalinos de espeleotemas e identificar los minerales presentes en las espeleotemas de la cueva de las lechuzas Tingo María. La metodología de la investigación se realizó siguiendo los lineamientos de CASTILLO (2014) el análisis de fragmentos de cuevas y GÁZQUEZ *et al* (2014) para el uso de la Espectroscopía Raman, para ellos se tuvo que extraer la muestra con un sacabocado y llevado al laboratorio, las muestras fueron secadas en una estufa a 60 °C por 2 horas, luego trituradas y pesados a 5 g cada uno. El análisis de mineralogía por espectroscopía Raman se llevó a cabo mediante un láser de HeNe de 638 nm acoplado a un detector EMCCD, observado con una fibra óptica con un diámetro de 200 μm y aumentos desde 5X hasta 50X. Los resultados obtenidos indican que: 1) La estructura molecular de las espeleotemas de la Cueva de las lechuzas está compuesta principalmente por grupos éteres ($\text{RCH}_2\text{-O-CH}_2\text{R}$), halógenos (C-F), compuestos de silicio (Si-O-Si), compuestos de azufre (C=S) y compuestos de fósforo (P=S). 2) Las espeleotemas de la Cueva de las Lechuzas poseen compuestos de carbonatos principalmente dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) en los rangos de 282 cm^{-1} y 1085 cm^{-1} y en menor proporción yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) en los rangos de a 1002 cm^{-1} , 488 cm^{-1} , 1132 cm^{-1} , 613 cm^{-1} y 666 cm^{-1} .

Palabras clave: Componentes minerales, cueva de las lechuzas, Espectroscopía Raman, espeleotema.

I. INTRODUCCIÓN

Una razón para la creación del Parque Nacional Tingo María, fue el descubrimiento de la Cueva de las Lechuzas, una maravilla geológica y fuente de turismo neto, pertenece a la cadena de montañas que forman el paisaje de la Bella Durmiente y alberga un ecosistema frágil habitado una importante población de *Steatornis caripensis* Humboldt (guácharos), loros, murciélagos, etc. Sin embargo, se conoce poco sobre la formación de sus espeleotemas o composición química en general, siendo de vital importancia para la conservación estructural y de los ecosistemas presentes en él.

El muestreo de espeleotemas con fines académicos puede crear graves inconvenientes de conservación en cuevas. La recolección de espeleotemas para estudios mineralógicos y paleoclimáticos resta valor natural y atractivo a las cavidades (FORTI, 2007); varios de los cuales proceden de zonas poco visibles para el visitante, no obstante, esto no decrece el impacto (PAGLIARA K., 2010; SPÖTL y MATTEY, 2012). Los análisis no destructivos manifiestan una opción a la toma de muestras en cuevas, principalmente en cavidades turísticas o con particular valor atractivo, cultural y ecológico.

Existen muchas técnicas utilizadas para dicha situación, siendo la espectroscopia Raman la que superiores resultados ha entregado gracias a su enorme versatilidad para la identificación de componentes orgánicos e inorgánicos, su capacidad no destructiva y su reducida proporción de muestra para su análisis, siendo usada con mucha precisión en laboratorios para la identificación de minerales de cavernas (GÁZQUEZ et al., 2012a; 2013, 2014b). En tal sentido se formula: ¿Cuáles serán los componentes minerales cristalinos presentes en la cueva de las Lechuzas del Parque Nacional Tingo María?, motivo por el cual se plantea como:

Objetivo general:

- Identificar los componentes minerales presentes en la Cueva de las Lechuzas del Parque Nacional Tingo María, Leoncio Prado.

Objetivos específicos:

- Determinar la estructura molecular de los minerales cristalinos de espeleotemas de la Cueva de las Lechuzas Tingo María

- Identificar los minerales presentes en las espeleotemas de la cueva de las lechuzas
Tingo María

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Tingo María y su zona kárstica

Ubicándose en la región natural denominada Rupa Rupa, específicamente en la cuenca del río Huallaga aledaña a Tingo María, La gama Mezoica de calizas alcanza espesores excepcionales y la morfología de los relieves que forman evolucionó bajo las condiciones climáticas (MARTONNE, 1964).

La densa vegetación de la selva cubre casi por completo los picos y valles. El clima es el del llamado "país caliente" con temperaturas medias en torno a los 25 ° C y una precipitación media que superaría los 3500 mm anuales. No hay estación seca en sí, solo en los meses de julio, agosto y septiembre hay una ligera reducción del régimen de lluvias. La fauna y la flora de la selva de Rupa Rupa son infinitamente diversas y le dan al paisaje una personalidad distintiva llena de extraordinaria belleza (ULLASTRE, 1973).

El karst de Tingo María, se caracteriza por un clima marcadamente tropical, lo que le confiere un sello único, a la vez que contribuye al desarrollo de un extenso sistema subterráneo. Sin embargo, esta zona, así como toda la cuenca central del río Huallaga, también presenta una topografía cálida. La Bella Durmiente es un conjunto de picos de piedra caliza al suroeste de Tingo María, que cubre un área de unos 50 Km² (ULLASTRE, 1973).

2.1.1. Descripción geográfica y geomorfológica

El nombre "La Bella Durmiente" se le da a la silueta que finaliza en la cresta de un conjunto de relieves de piedra caliza, dispuestos en un arco cuya convexidad apunta a Tingo María. El macizo limita al este con el río Huallaga y al norte con el río Monzón. Ambas corrientes convergen al pie de la esquina noreste de la Bella Durmiente, en el borde oeste se encuentra el Cerro Blanco y la quebrada del Río Oro y al sur el Valle del Río Santa. Al norte del macizo en cuestión, en la margen izquierda del río Monzón, los materiales calizos se extienden formando crestas del cerro Cotomono (DOLLFUS, 1965).

Las estribaciones que dan lugar a las estribaciones que emergen de las cadenas este y norte de la cadena principal se elevan hasta 300 y 500 m por encima de las llanuras aluviales circundantes. Al este del río Huallaga, al oeste del río Oro (Cerro Quemado), al sur de Bambú Pata y parte del valle del río Santa, materiales detríticos finos (arcillas y areniscas)

de las llamadas "capas rojas" (DOLLFUS, 1965). Estos forman colinas redondeadas con pendientes que cambian por soliflucción de materiales limosos de arcilla roja.

Tanto las calizas como las capas rojas se consideraron mesozoicas. Las calizas, atribuidas al Jurásico, en Tingo María, suelen aparecer en series de gran fuerza, con caídas muy pronunciadas. Los intervalos entre los planos de las camas son casi siempre grandes, alcanzando los 5 m. la red conjunta tampoco es muy densa, con intervalos entre 2 y 4 m. Estas calizas pertenecen de grano fino, muy compactas y suelen contener nódulos de silicio (BELLIDO y FRANK, 1957).

Estos elementos están sujetos a un régimen de altas precipitaciones (3500 mm por año) y altas temperaturas. En este estado, las calizas se modelaron como cordilleras con infinidad de picos más o menos aislados, entre los que se encuentran depresiones cerradas. las crestas son redondeadas y las paredes verticales. Al pie de los cerros en la parte norte del macizo, bordeando el valle del río Monzón, se encuentran varios puntos de urgencia, especialmente la Quebrada de las Lechuzas (ULLASTRE, 1973).

Una de las propiedades básicas observada al pie de los acantilados en esta parte es la presencia de cuevas llamadas "pie del cerro" (NUÑEZ, 1967). Algunos son poco profundos y en ocasiones son inundados por agua que se acumula en la base de las laderas, o son fuentes puntuales de emisión de agua infiltradas en hoyos y arroyos dentro del macizo. Otras cuevas se abren en niveles más altos, son profundas y sirven como canal para corrientes subterráneas.

El macizo kárstico de Tingo María está formado por una serie de cerros cónicos con una serie de depresiones estrechas y cerradas entre sí sin fondo plano, excavados a partir de una circulación subterránea ligada a un determinado nivel de base. A través de grandes ríos subterráneos que rodean el macizo, la circulación kárstica se polariza hacia el valle de Monzón. Además de su importancia topográfica, también tiene una importancia ecológica gracias a los contornos de La Bella Durmiente perteneciente al Parque Nacional Tingo María. (ULLASTRE, 1973).

2.1.2. Parque Nacional Tingo María

2.1.2.1. Creación

El Parque Nacional Tingo María (PNTM) fue creado mediante la Ley N ° 15574 en 1965, reconociéndose como el segundo Parque en crearse en el Perú después del Parque

Nacional Cutervo. Actualmente en el PNTM se encuentra inscrito en los Registros Públicos como Patrimonio Nacional, con una superficie de 4777,8 Has (INRENA, 2004).

2.1.2.2. Topografía y fisiografía

INRENA (2004) menciona que, la zona se extiende por toda la pequeña cordillera de la Bella Durmiente, por lo que su relieve es muy abrupto y accidentado con la excepción de unas pequeñas terrazas. Las pendientes son en su mayoría muy empinadas, alcanzando un máximo de 45 °. Hay muchas paredes rocosas de una altura de 300 a 500 m.

Gran parte del terreno del parque es kárstico o calizo, generalmente se caracteriza por ser alcalino, contiene fragmentos de roca residual y alta tasa de infiltración. Se ubica en la confluencia de los ríos Monzón y Huallaga. Los bosques del Parque son fundamentales en la regulación del ciclo del agua en 6 sectores: Monzón-Huallaga; Huallaga-Tres de Mayo, Tres de Mayo-Río Santa, Río Santa-Río Colorado, Río Colorado-Río Oro y Río Oro- Río Bella (INRENA, 2004).

2.1.2.3. Biodiversidad del Parque Nacional Tingo María

La biodiversidad del Parque Nacional Tingo María consta de 144 especies de recursos vegetales, incluidos árboles, arbustos y palmeras, y 104 especies de vida silvestre superior, incluidos peces, ranas, reptiles, aves y mamíferos, incluidas 51 especies de artrópodos en la llamada “Cueva de las Lechuzas”; en la jurisdicción del PNTM, existen muy pocos lepidópteros sin evaluación técnica previa. (INRENA, 2004).

2.1.3. Cueva de las lechuzas

La majestuosa e imponente caverna es conocida por la población nativa desde tiempos inmemoriales como la Cueva de las Lechuzas, forma parte esencial del turismo en la ciudad de Tingo María (Figura 1).



Figura 1. Fotografía tomada de la Cueva de las lechuzas

Fue citado por RAIMONDI (1942) en el siglo anterior, como La Cueva de los Guácharos por estar habitado una importante población de *Steatomis caripensis* Humboldt (guácharos). Forma parte de los lugares más visitados del Perú en el sistema de zonas protegidas (superando los 18,000 visitantes en el 2001) (INRENA, 2004), siendo el lugar que más aporta económicamente y culturalmente al sistema de Parques.

Por otro lado, la fragilidad del sistema de parques y factores adversos que lo impactan incentivan a la importancia de sentar las bases científicas para adquirir planes de Gestión de sus Recursos Naturales sólidos y eficaces, que contemplen la existencia de un sistema de monitoreo que ayude a la detección y pronóstico, así como mitigar, los impactos que la dañan.

2.2. Minerales de cuevas y espeleotemas

El término espeleotema (*speleothem*) fue acuñado por MOORSE (1952) que lo definió como cualquier mineral secundario precipitado en el interior de una cueva. Este concepto hace referencia al modo de ocurrencia del mineral, por ejemplo, su morfología, y no a otras características como pudieran ser su composición o su mineralogía.

El contexto en el cual se desarrollan los espeleotemas carbonáticos por lo general, es el de un acuífero carbonático karstificado. En líneas generales, el suelo se sitúa sobre una

zona total o parcialmente fisurada denominada epikarst o zona subcutánea. El epikarst funciona como la zona de infiltración superficial que alimenta tanto a los conductos de mayor tamaño como a las fisuras con menor transmisividad, que posteriormente conducirán la masa de agua hacia las grietas y/o cavidades en forma de goteo (FORD y WILLIAMS, 2007).

Los espeleotemas han sido frecuentemente clasificados atendiendo a su origen (GAMS, 1965) o a su estructura cristalina (STEPANOV, 1971) aunque la clasificación más aceptada en la actualidad es la propuesta por HILL y FORTI (1997) basada principalmente en su morfología. Estos autores en su libro *Cave Minerals of the World* (1984) y su posterior reedición en 1997, confeccionaron un extenso elenco de los minerales que han sido identificados en cuevas hasta la fecha.

De los más de 350 minerales detectados (ONAC y FORTI, 2011) (Figura 2), los pertenecientes a los carbonatos son sin duda los más abundantes debido a la naturaleza carbonática de la mayoría de entornos kársticos o calcáreos.

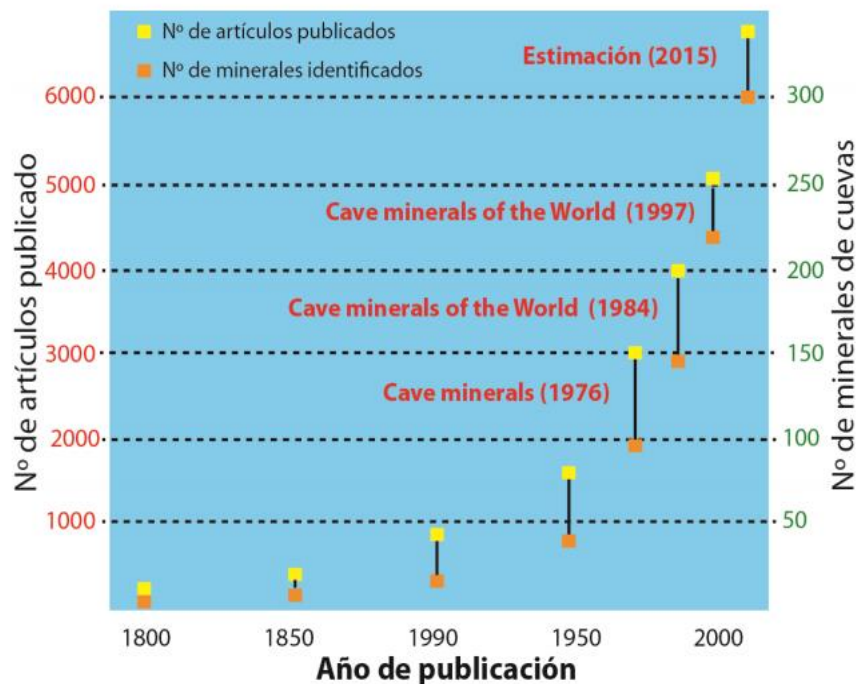


Figura 2. Trabajos publicados sobre minerales de cuevas, número de minerales de cuevas identificados y las principales revisiones sobre minerales de cuevas publicadas en los últimos 200 años (ONAC y FORTI, 2011).

De los tres minerales polimorfos del carbonato cálcico (CaCO_3), la calcita y el aragonito son los más frecuentes en cavidades, mientras que la vaterita no suele aparecer en

cuevas, debido a su baja estabilidad en ese ambiente. Además, debido al carácter meta estable del aragonito, la precipitación de calcita se ve favorecida en la mayoría de situaciones (HILL y FORTI, 1997). No obstante, la presencia de aragonito en espeleotemas es frecuente y en muchas ocasiones se ha interpretado como evidencias de periodos áridos o de fuerte evaporación en las cavidades (FINCH *et al.*, 2001).

El segundo grupo de minerales con mayor presencia en cavidades son los sulfatos, y entre ellos, el tercer mineral más abundante en el cómputo global de minerales subterráneos es el yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Otros minerales como la epsomita ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), la mirabilita ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), la barita (BaSO_4) o la celestina (SrSO_4) también han sido identificados y caracterizado en cavidades más de 50 minerales sulfatados (HILL y FORTI, 1997).

Otras mineralizaciones frecuentemente en cuevas son los óxidos e hidróxidos, de los cuales los óxidos de hierro y/o manganeso son los más frecuentes. Goethita ($\text{Fe}^{3+}(\text{OH})$), Birnesita ($\text{Na}_4\text{Mn}_{14}\text{O}_{27} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$), Romanechita ($(\text{Ba},\text{H}_2\text{O})(\text{Mn}^{4+},\text{Mn}^{3+})_5\text{O}_{10}$), Todorokita ($(\text{Mn}^{2+}, \text{Ca}, \text{Mg})\text{Mn}_3^{4+}\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$) o Rancieita ($(\text{Ca}, \text{Mn}^{2+})\text{Mn}_4^{4+}\text{O}_9 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) son algunos de los minerales más abundantes en esta categoría. Además, se pueden encontrar otros minerales pertenecientes al grupo de los fosfatos, nitratos, sulfuros, silicatos, cloruros y un largo etcétera. En estudios en el ámbito de las cuevas aproximadamente se identificaron solo 20 minerales distintos (FORTI, 1996) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Minerales identificados en cuevas de yeso en el mundo

Minerales	Fórmula Química
Ázufre nativo	S
Bassanita	$\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Brochantita	$\text{Cu}(\text{OH})_6\text{SO}_4$
Brushita	$\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Calcita	CaCO_3
Carbonatoapatita	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4, \text{CO}_3)_3\text{OH}$
Celestina	SrCO_3
Cloromagnesita	MgCl_2
Cuarzo	SiO_2
Deviline	$\text{Cu}_4\text{Ca}(\text{SO}_4)_2$ $(\text{OH})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$

Minerales	Fórmula Química
Epsomita	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$
Fluoroapatita	$Ca_5(PO_4 CO_3)_3F$
Goethita	$FeO(OH)$
Hielo	H_2O
Lepidocrita	$FeO(OH)$
Limonita	$Fe-O$
Mirabilita	$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$
Óx. de Al	Al_2O_3
Óx./Hidróx. de Fe	$Fe-O$
Óx. de Mn	$Mn-O$
Ópalo	$SiO_2 \cdot nH_2O$
Penninita	$(Mg,Fe,Al)_6(OH)_8$ $(Si,Al)_4O_{10}$
Rodrocrosita	$MnCO_3$
Silvina	KCl
Yeso	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$

Fuente: FORTI, 1996

Esto se debe a que los sulfatos son sales procedentes de un ácido fuerte (ácido sulfúrico) y presentan escasa facilidad para formar minerales, a diferencia de lo que ocurre en calizas y dolomías que reaccionan fácilmente con agentes de mineralización para dar lugar a nuevas mineralizaciones (FORTI, 1996).

2.3. Efecto Raman

2.3.1. Historia y origen

La espectroscopia Raman es una de las técnicas analíticas que más importancia e interés ha despertado en los últimos tiempos. Dicha técnica se originó a finales de 1920 y se fundamenta en el efecto Raman, un fenómeno descubierto por el físico hindú Chandrasekhara Venkata Raman (GALLEGO, 2009).

GALLEGO (2009) mencionó que este es un fenómeno físico de dispersión inelástica de luz monocromática, el cual es el resultado de vibraciones y rotaciones internas que ocurren en las moléculas. Fue propuesto por primera vez por Smekel en 1923 y observado por

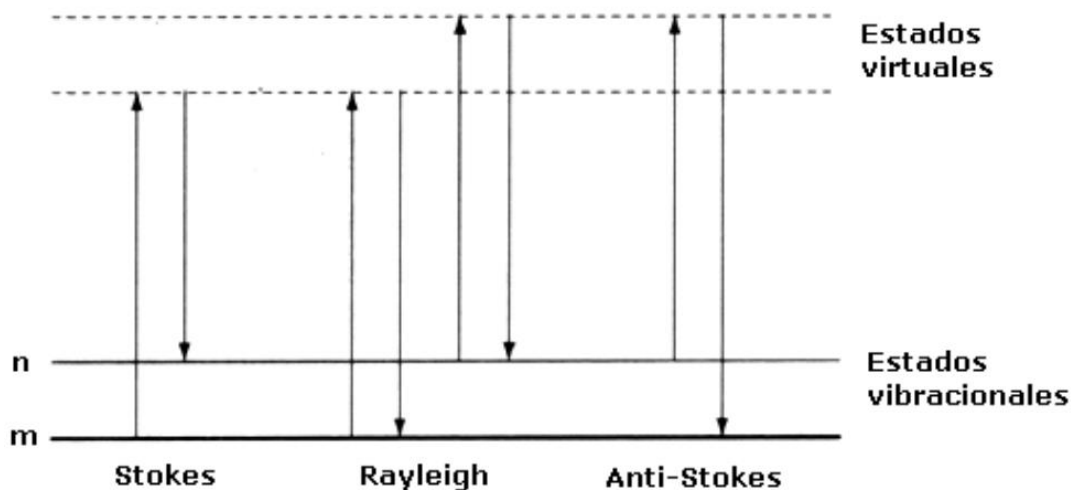
Raman y Krishnan en 1928. En el experimento original, el sol se enfocaba mediante un telescopio sobre muestras de agua pura y alcohol. La radiación dispersa de la muestra se recoge mediante una lente que pasa por un sistema de filtrado y muestra una dispersión a una frecuencia diferente a la de la luz original. Como resultado de este descubrimiento, C.V. Raman ganó el Premio Nobel de Física en 1930.

2.3.2. Espectroscopía Raman

La espectroscopia Raman se define como un proceso de evaluación molecular de carácter no destructiva y muy específica que se basa en el efecto Raman. Puede utilizarse para mediciones cualitativas-cuantitativas y en elementos orgánicos e inorgánicos (GALLEGO, 2009).

Dicho método vibracional evalúa la luz dispersada de una muestra que se ejecuta al iluminarla con un haz de luz monocromática. Las dispersiones son específicas y con propiedades de cada muestra, debido a las vibraciones internas que se producen en las moléculas. El conjunto de dispersiones originadas por el material formará su propio espectro Raman. Esta técnica se encuentra fundamentada en la interacción entre un haz de luz y la nube de electrones de los átomos de una molécula. Usualmente, la muestra se ilumina con una luz monocromática, la luz irradiada desde un punto se concentra con una lente y se envía a través de un monocromador. Se filtran las longitudes de onda que se encuentran cerca de la línea del láser debido a la dispersión elástica de Rayleigh, mientras que la diferencia de la luz se dispersa en un CCD o detector. De esta forma obtenemos información vibracional característica de cada enlace químico, y por tanto de cada compuesto (SKOOG *et al.*, 2008).

Cada espectro Raman consta de una banda de la misma frecuencia que la radiación incidente (debido a la dispersión de Rayleigh) y otras bandas de mínima intensidad desplazadas de la anterior. Estas bandas pertenecen al efecto Raman y forman dos grupos distintos: bandas de Stokes con frecuencias por debajo de la incidencia y bandas anti-Stokes con frecuencias por encima de la incidencia. Estas bandas de Stokes y Anti-Stokes se presentan en pares y son simétricas con respecto a la frecuencia central. Por otro lado, las bandas de Stokes son mucho más fuertes que las bandas anti-Stokes, por lo que a menudo se excluyen porque dan los mismos datos que las bandas de Stokes. (SKOOG *et al.*, 2008). (Figura 3).



Fuente: SKOOG *et al.* (2008)

Figura 3. Diagrama del desarrollo de la dispersión Rayleigh y Raman

En general, SKOOG *et al.* (2008) indica que, estas bandas de dispersión se representan en función del número de onda normalizado $\bar{\nu}$, en lugar de la longitud de onda o la frecuencia. El término número de onda es definido como el número de longitudes de onda que caben en un centímetro y expresado como:

$$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} [cm^{-1}] = \frac{\nu}{c}$$

Donde:

$\bar{\nu}$ = Número de onda

λ = Longitud de onda

ν = Frecuencia

c = Velocidad de la luz

Utilizando una representación espectral basada al desplazamiento del número de onda de acuerdo el número de onda del láser: el espectro $\bar{\nu} - \bar{\nu}_0$ será generado por bandas de dispersión independientemente de la frecuencia de la fuente de excitación utilizada (SKOOG *et al.*, 2008).

2.4. Antecedentes

GALÁN y VERA MARTÍN (2009) utilizaron espectroscopía Raman y microfotografía para estudiar la sección posterior de Paramoudra en areniscas de la Formación

Jazkibel en el País Vasco. En este estudio, se utilizó espectroscopía Raman para definir la composición de la tubería y el cemento de Paramoudra mediante secciones seriadas y se ilustró con macro y micro fotografías. La composición de la tubería es compleja. Se discuten sus funciones y técnicas. Observamos que el cemento de los nódulos está compuesto por sílice en forma de cuarzo (sílice autógena), mientras que los tubos están compuestos esencialmente por carbonato de calcio en forma de calcita. En el tubo, la señal de la calcita es tan fuerte que no se pueden distinguir las señales de los oligoelementos.

GALÁN *et al.*, (2009) mencionan que, hicieron un estudio haciendo uso de la espectroscopía Raman y Espectroscopia de Fotoemisión de Rayos X (XPS) de secciones de Paramoudras en Arenisca de la formación Jaizkibe, en la que utiliza la espectroscopía Raman y la espectroscopía por fotoelectrones de rayos X (XPS) para analizar la composición mineralógica y química de los Paramoudras. Siendo identificados espectros variables, a causa de que la muestra posee una homogeneidad alta, siendo significativo, sólo dos espectros. El estudio denota una cantidad muy elevada de óxido de silicio cristalinizado (SiO_2) (picos característicos en 354, 394, y 463 cm^{-1}). Adicionalmente se encontraron siderita (carbonato de hierro) (con picos característicos 279, 1082 cm^{-1}) y en menores proporciones el aragonito (carbonato cálcico) (201, 1160 cm^{-1}). La muestra presenta fluorescencia en pequeños fragmentos. Además de ello, se identificaron cuarzos de óxido de silicio, siderita (carbonato de hierro) y calcita y aragonito (carbonato de calcio).

GÁZQUEZ *et al.* (2014), realizaron un estudio mineralógico en cuevas mencionando que han necesitado un muestreo simple para análisis posterior en laboratorio. El muestreo de sus componentes genera en algunas situaciones influenciar irreversiblemente la estructura de cavidades y que van en contra de la conservación de cavidades subterráneas, bajo un punto de vista geológico y arqueológico. El impacto generado por la extracción se magnifica más cuando se hacen estudios en pinturas rupestres puesto que adicionan valor histórico y cultural. Afirman aprovecharon los beneficios técnicos de la espectroscopia Raman en investigación mineralógica y pigmentos en dos importantes cuevas españolas “El Soplao y Altamira”. La espectroscopía Raman permitió conocer sobre la mineralogía en el mismo lugar y de una forma no destructiva en espeleotemas de carácter especial en la cavidad El Soplao. Se descubrieron en su mayoría minerales carbonatados, siendo el aragonito el más abundante. Además, se identificaron algunos minerales poco comunes, entre ellas la hidromagnesita, estudiando también las características de los minerales de los yacimientos de hierro y magnesio actualmente descubiertos en esta cueva. Para la cavidad de Altamira, los resultados iniciales

por medio de la espectroscopía Raman en la denominada Sala de los Polícromos, demostrando a mayor escala yacimientos de hematitas, causante del color rojizo de las pinturas. La espectroscopía Raman es una potencial técnica y muy compatible con la base de conservación de cavidades importantes, debido que los estudios no necesitan la utilización de tintes. Dicha técnica surge alternativamente a la extracción de grandes muestras o materiales en cavidades para análisis mineralógicos y de pigmentos.

CASTILLO (2014) afirma que formuló un método nuevo para análisis de compuestos fenólicos principales en diferentes vinos tintos, principalmente de la variedad Cabernet Sauvignon. En su estudio utiliza la espectroscopía Raman para medir la dispersión resultante por la composición molecular del vino para conocer de forma cualitativa y cuantitativa las características del material. realizó un análisis en pequeñas cantidades de vino tinto de añejos diferentes, con viñedos distantes y de cosechas no constantes. Aplicando un inicial procesamiento con los softwares MATLAB y PLS_Toolbox 5.0.3 se concretó por su carácter no destructivo, una correlación entre las variables, obteniendo modelos de polifenoles totales, antocianinas y taninos, evaluándose con la utilización de índices de validación R² y RMSEV, generando buenos resultados, y potencialmente para estudios de otras variedades, compuestos en vino, etc.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

El estudio fue en el Laboratorio Central de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, ubicado a la margen derecha de la carretera Central Km 1.21 en la Ciudad de Tingo María; políticamente ubicada en el distrito Rupa Rupa, provincia Leoncio Prado y región Huánuco. Espacialmente está localizado en las coordenadas siguientes:

ESTE	:	390725
NORTE	:	8970138
ALTITUD	:	676 msnm.

3.1.1. Lugar de muestreo

Las muestras fueron recolectadas de la Cueva de las Lechuzas, localizada en la franja de Uso Turístico del Parque Nacional Tingo María (PNTM) que se ubica en la región Rupa Rupa o selva alta, provincia de Leoncio Prado - Huánuco, intersección de los distritos Mariano Dámaso Beraún y Rupa Rupa. El ingreso a la cueva denota las siguientes coordenadas UTM:

ESTE	:	3872387
NORTE	:	8969980
ALTITUD	:	876 msnm.

3.1.2. Clima

Estación Meteorológica José Abelardo Quiñonez de la UNAS (2019) indica que, la zona presenta una temperatura máxima 30.5 °C, mínima 18.7 °C, y media 23.5 °C, precipitación promedio de 3 500 mm y la humedad relativa 85%.

3.1.3. Zona de vida

HOLDRIDGE (1987) menciona que, utilizando su diagrama bioclimático y clasificación de zonas de vida, la zona en estudio pertenece a la zona de bosque muy húmedo Pre montano Sub Tropical (bmh - PST). Además, PULGAR (1938) afirma que, en base a las regiones naturales del Perú, la zona se categoriza como Selva Alta o Rupa Rupa.

3.2. Materiales, equipos y herramientas

3.2.1. Muestra de espeleotemas

Se utilizaron 6 muestras de 5 g de espeleotemas del interior de la Cueva de las Lechuzas, distribuido en 3 sectores (entrada, medio y fondo).

3.2.2. Materiales de campo

Se utilizó un morfón metálico, martillo pequeño, porta muestras de plástico hermético en frasco, bolsa hermética, casco minero, guantes de protección, linterna de mano.

3.2.3. Equipos

Entre los equipos están el GPS 62s marca Garmin, estufa eléctrica, balanza gramera, espectrómetro Raman Xplora Plus marca Horiba.

3.3. Metodología

Se realizó siguiendo la metodología modificada propuesta por CASTILLO (2014) el análisis de fragmentos de cuevas, GÁZQUEZ *et al* (2014) para la aplicación de la Espectroscopía Raman y también por el Laboratorio Central de Investigación (2019).

3.3.1. Recolección de muestras de espeleotemas

Antes de iniciar con la investigación, se tuvo que verificar la presencia, estado y buen funcionamiento de los materiales, herramientas y equipos que se necesitó en la fase de campo.

Por otro lado, para la fase de campo, se solicitó el permiso respectivo de ingreso y extracción de muestras de espeleotemas al jefe del Parque Nacional Tingo María,

Similarmente para la fase de laboratorio se solicitó el análisis de las muestras al director del Laboratorio Central de Investigación de la Universidad Nacional Agraria, así como de las facilidades para poder estar presente en los análisis.

3.3.2.1. Extracción de la muestra

Con el permiso en regla, se ingresó y reconoció la cueva, además de las espeleotemas más significativas. Luego, con la ayuda de un sacabocado, martillo y con mucho cuidado se hizo incisiones en las espeleotemas, teniendo en cuenta las zonas con riesgo para

evitar impactos en el espeleotema, posteriormente se pusieron las muestras en el respectivo porta muestras cerrando herméticamente y etiquetando para reconocerlo después.

Finalmente, las muestras fueron trasladadas al Laboratorio Central de Investigación para ser analizadas en identificación de grupos funcionales y compuesto principal.

Antes de ingresar al laboratorio, las muestras fueron secadas en una estufa a 60 °C por 2 horas, luego fueron trituradas en un mortero por separado hasta alcanzar partículas de polvo, finalmente fueron pesados en una balanza a 5 g cada uno.

3.3.2. Determinación de la estructura molecular de los minerales cristalinos de espeleotemas de la Cueva de las Lechuzas Tingo María

Para determinar la estructura molecular por espectroscopía Raman, las muestras fueron puestas en un porta objeto de vidrio, luego con mucho cuidado se adecuaron a la ranura de la parte óptica.

El análisis de mineralogía por medio de la espectroscopia Raman se llevó a cabo mediante un láser de HeNe de 638 nm acoplado a un detector EMCCD, observado con una fibra óptica con un diámetro de 200 μm y aumentos desde 5X hasta 50X.

Para todos los espectros la potencia del láser sobre la muestra fue de 15 mW y la irradiancia 2,4 KW/cm². Esto nos aseguró que no se produjeran daños térmicos sobre las muestras. El tiempo de adquisición fue de 6 segundos y con 5 acumulaciones. Las muestras fueron manualmente escaneadas, variando la altura del foco con el fin de optimizar la intensidad de la señal espectral utilizando un joystick electrónico.

La defción de la estructura molecular de los minerales cristalinos de espeleotemas de la Cueva de las Lechuzas Tingo María, se conseguirá determinando los grupos funcionales que se observan entre las bandas características de cada mineral.

Los minerales presentes se identificaron por espectroscopía Raman, las muestras fueron puestas en un porta objeto de vidrio, luego con mucho cuidado se adecuaron a la ranura de la parte óptica.

El análisis de minerales utilizando la espectroscopía Raman fueron ejecutados mediante una luz monocromática de HeNe de 638 nm acoplado a un detector EMCCD,

observado con un amplificador óptico de un diámetro de 200 μm y aumentos desde 5X hasta 50X.

Para todos los espectros la potencia del láser sobre la muestra fue de 15 mW y la irradiancia 2,4 KW/cm². Esto nos aseguró que no se produjeran daños térmicos sobre las muestras. El tiempo de adquisición fue de 8 segundos y con 4 acumulaciones. Las muestras fueron manualmente escaneadas, variando la altura del foco con el fin de optimizar la intensidad de la señal espectral utilizando un joystick electrónico.

El compuesto mineral se identificó con el espectro correspondiente en base a la biblioteca automática que presenta el software KnowITall perteneciente al mismo equipo.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Estructura molecular de los componentes minerales cristalinos de espeleotemas de la Cueva de las Lechuzas

Haciendo una observación a la entrada de la cueva, con un ingreso de poca luz, se puede percibir estalactitas pequeñas, en su mayoría de color negro, que se distinguen fácilmente por la coloración de la roca madre.

Además de ciertas formas en la cueva, en la parte superior de la cavidad se puede apreciar zonas con vermiculitas calcáreas. Por otro lado, también en la parte superior y laterales de la cueva se aprecia con mayor frecuencia la presencia de espeleotemas de color negro y blanco, de múltiples características (estalactitas blandas, otras duras y de material cristalino, diferentes recubrimientos y algunos con recubrimientos gelatinosos).

Similarmente, en ciertas partes de las paredes y techo de la cavidad se aprecian espeleotemas de color blanco, siendo su posible origen a partir de percolación de agua de grietas superiores. La humedad de la cavidad es muy elevada debido a la presencia de múltiples fluidos acuosos.

De los tres puntos de muestreo, los resultados de las muestras indican que presentan éteres del grupo $\text{RCH}_2\text{-O-CH}_2\text{R}$ en los enlaces C-O-C en el rango $1150\text{-}1060\text{ cm}^{-1}$, un grupo halógenos (grupo C-F) en el enlace C-F en el rango $1300\text{-}900\text{ cm}^{-1}$, tres Compuestos de silicio (grupo Si-O-Si) en los rangos $1090\text{-}1080\text{ cm}^{-1}$, $1080\text{-}1050\text{ cm}^{-1}$ y $1100\text{-}1000\text{ cm}^{-1}$, por otro lado también posee un Compuesto de azufre del grupo C=S en el rango $1200\text{-}1050\text{ cm}^{-1}$ y compuestos de fósforo del grupo P=S en el rango $800\text{-}580\text{ cm}^{-1}$ (Cuadro 2); estos datos son muy precisos sobre la composición química de las espeleotemas aun siendo difícil al tratarse de compuestos a base de silicio; tal y como lo menciona GALÁN y VERA MARTIN (2009), espectroscopía Raman analiza e identifica con mucha precisión la composición química usando pequeñas muestras no homogéneas; sin embargo sigue siendo muy complejo el análisis estructural y mineralógico de componentes de sílice debido a su diversidad (GALÁN *et al*, 2009).

Cuadro 2. Grupos funcionales identificados en la muestra de espeleotemas de la Cueva de las Lechuzas

Clasificación	Grupo	Enlace	Rango (cm ⁻¹)
Éteres	RCH ₂ -O-CH ₂ R	C-O-C	1150-1060
Halógenos	C-F	C-F	1300-900
Compuestos de silicio	Si-O-Si	Si-O-Si	1090-1080
Compuestos de silicio	Si-O-Si	Si-O-Si	1080-1050
Compuestos de silicio	Si-O-Si	Si-O-Si	1100-1000
Compuestos de azufre	C=S	C=S	1200-1050
Compuestos de fósforo	P=S	P=S	800-580

La espectrometría Raman es una técnica usualmente utilizada en análisis químico, debido a la precisión con la que denota los enlaces químicos en la información vibracional de moléculas. En tal sentido, otorga una “huella dactilar” de los componentes de la muestra, siendo fácil su identificación (SKOOG *et al.*, 2008). La aplicación al estudio de minerales, aunque ha sido ampliamente utilizada en el pasado (GRIFFITH, 1969) ha crecido en los últimos años especialmente ligada al ámbito de la geología planetaria (EDWARDS, 2004; RULL y MARTINEZ-FRÍAS, 2006; FRITZ *et al.*, 2005). Sin embargo, son pocos los trabajos que han empleado la espectroscopía Raman para la determinación de minerales de cuevas (WHITE, 2006; MARTÍNEZ-ARKARAZO *et al.*, 2007).

4.2. Identificación los minerales presentes en las espeleotemas de la cueva de las lechuzas Tingo María

De acuerdo a los resultados obtenidos, se aprecia que los minerales hallados en las espeleotemas de la Cueva de las Lechuzas constituyen el primer reporte de este tipo. Las espeleotemas están formadas mayoritariamente por dolomita (CaMg(CO₃)) y pequeñas cantidades de yeso (CaSO₄.2H₂O). Siendo muy novedosas las composiciones halladas en espeleotemas de cavernas en general y contrastante con resultados en cuevas o cavernas del karst clásico (HILL y FORTI, 1997).

El descubrimiento de los contornos de origen cristalino de GALÁN y VERA MARTÍN (2009) afirma que los fragmentos de cuarzo de la arenisca y otros pequeños componentes (micas y feldespatos), son disueltos o pulverizados por la infiltración de aguas en el acuífero intergranular

El espectro Raman de este yeso presenta las vibraciones típicas del sulfato (SO_4), a 1002 cm^{-1} , 488 cm^{-1} , 1132 cm^{-1} , 613 cm^{-1} y 666 cm^{-1} . También aparecen las señales de las vibraciones del agua estructural del yeso a 3403 y 3491 cm^{-1} , respectivamente (Figura 4 y Figura 5).

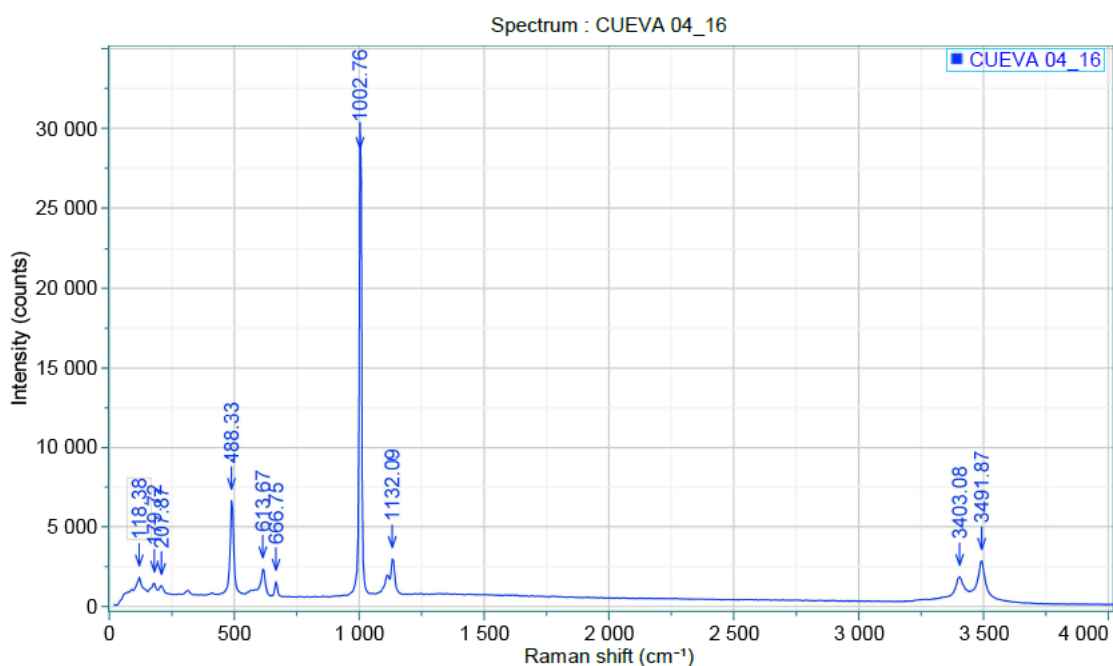


Figura 4. Espectro Raman de la muestra 04 de la Cueva de las Lechuzas

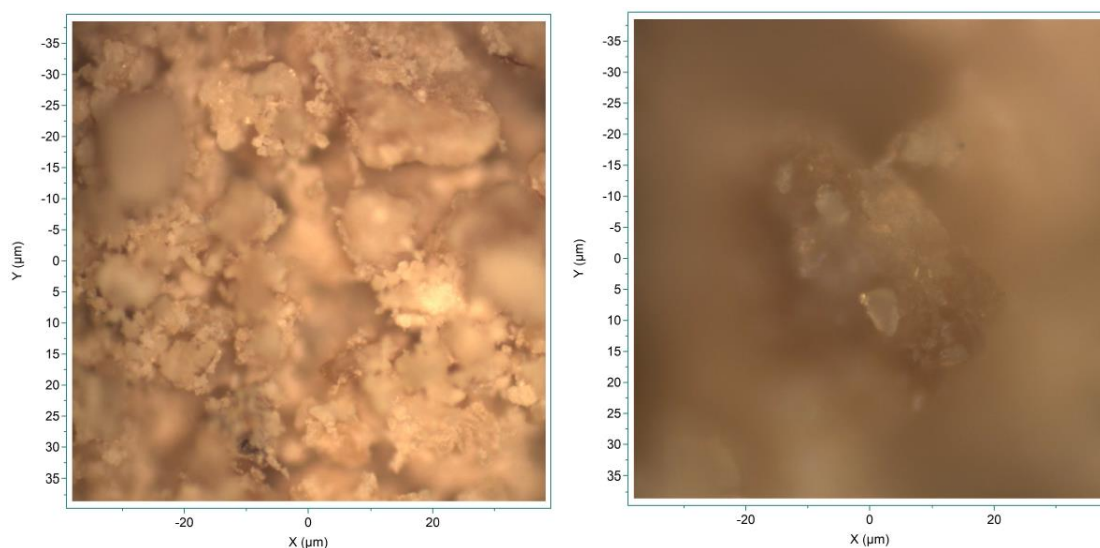


Figura 5. A) Observación a 10X de la muestra; B) Observación a 50X de la muestra con incrustación de yeso

GALÁN y VERA MARTÍN (2009) afirma que, las aguas sobresaturadas con minerales precipitan al llegar a las paredes de la caverna o resultan con aerosoles en el ambiente

de la cavidad para finalmente volver a precipitarse. Debido a ello, se contrasta que, no se originen espeleotemas de calcita, al ser el carbonato de calcio el principal componente de la roca madre. Teniendo bajo conclusión, la intervención el pH en la formación y la mayor capacidad de disolverse de la dolomita.

Por otro lado, los picos característicos de la dolomita se aprecian a los 282 cm^{-1} y 1085 cm^{-1} , presentes en toda la caverna (Figura 6).

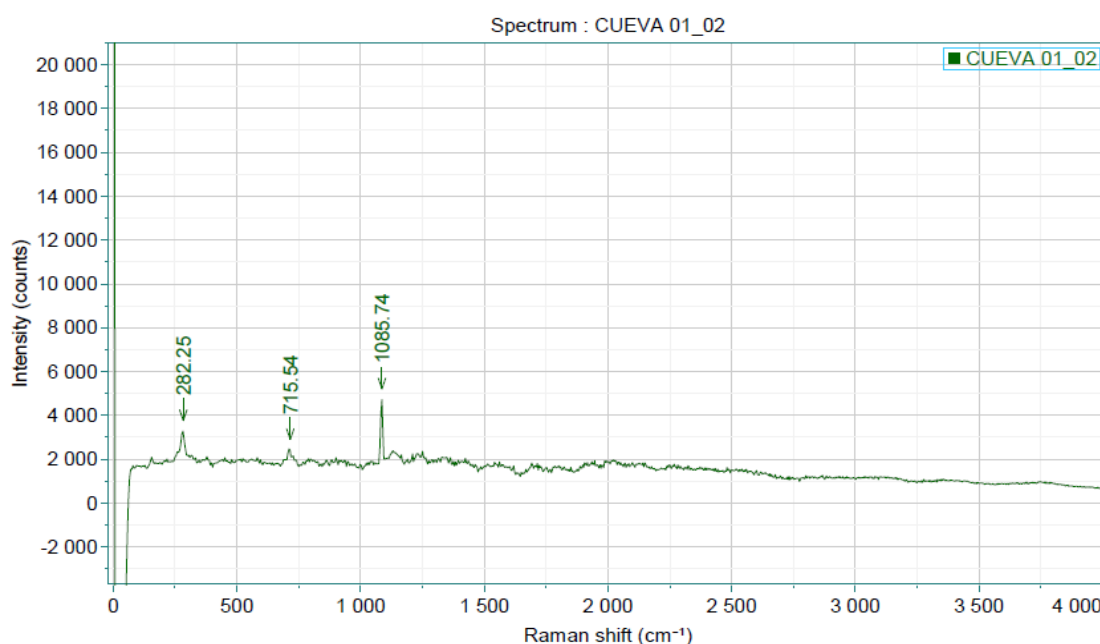


Figura 6. Espectro Raman de la muestra 01 de la Cueva de las Lechuzas

Múltiples casos en base a su origen o modo en la que sucede manifiestan que, aparte de filtrarse el agua sobre saturada de componentes disueltos de la roca madre, posiblemente también se formen en base a aerosoles originados por los compuestos minerales de las cuevas, así lo indica GALÁN y VERA MARTÍN (2009)

Similarmente se muestra mediante la parte óptica del espectrómetro Raman, la formación de cristales idénticos a la forma de la dolomita, con pronunciaciones filosas y coloración cristalina (Figura 7).

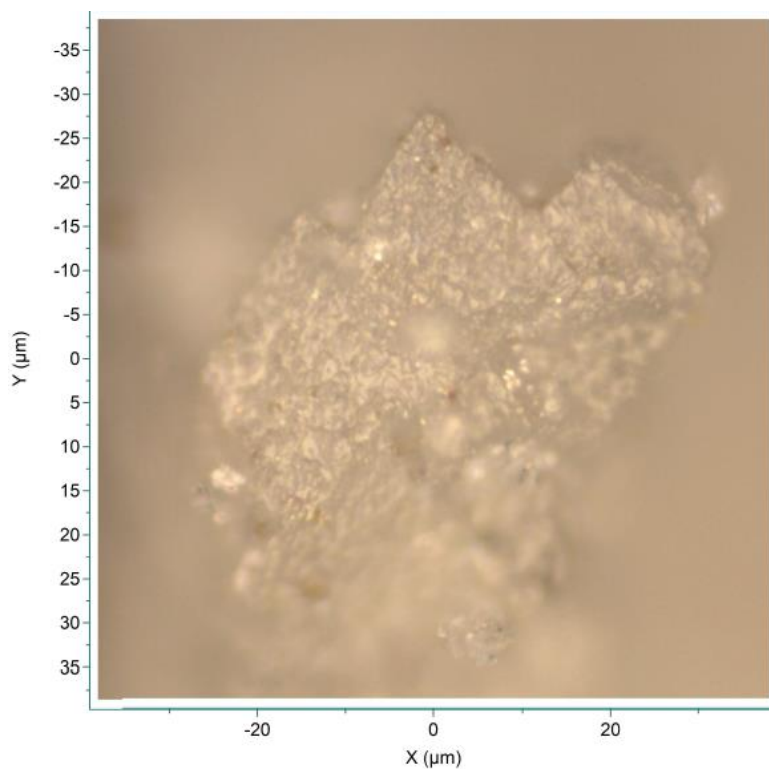


Figura 7. Imagen óptica de cristales de dolomita de la Cueva de las Lechuzas

La siguiente muestra también revela las señales Raman correspondiente a las vibraciones de la dolomita, en 174, 294 y 1094 cm^{-1} , sin embargo, se atribuyen otros picos en 718 y 1439 cm^{-1} (Figura 8 y Figura 9).

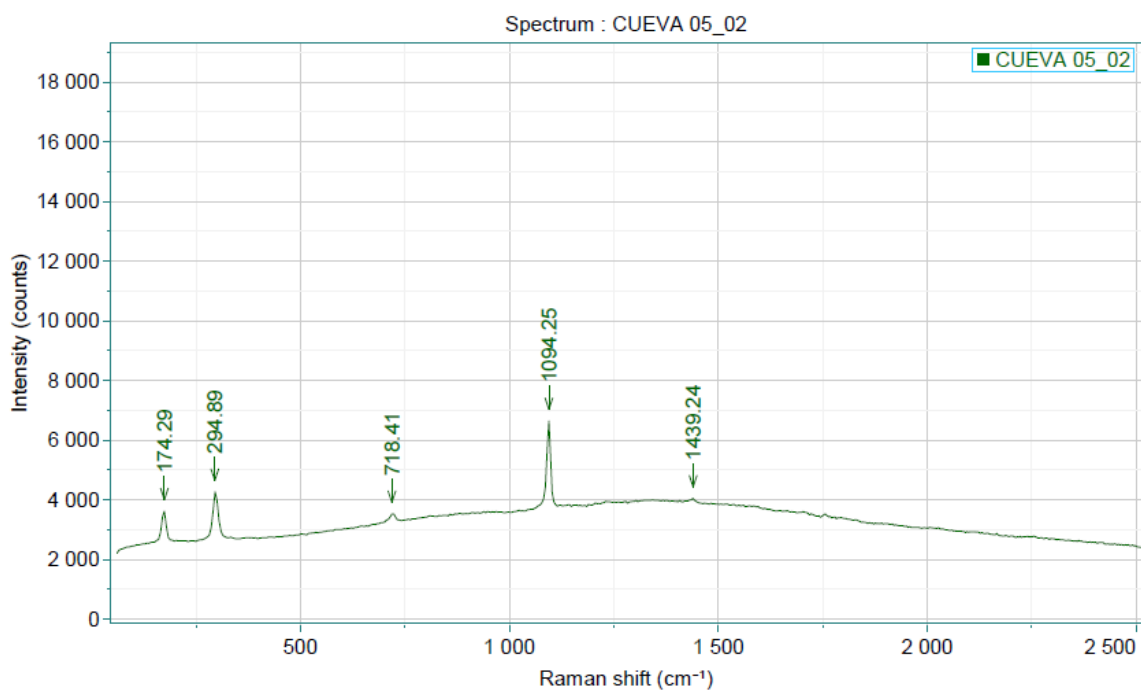


Figura 8. Espectro Raman de la muestra 05 de la Cueva de las Lechuzas

El estudio resulta significativo debido a la presencia de yacimientos de dolomita. Sin embargo, existen pequeñas dispersas de cantidades de calcio (yeso). Esto propone que, al ser posible la identificación de la composición de estas espeleotemas es que al disolverse la arenisca al momento de la karstificación no sólo varía el contenido carbónico (y causa la arenización de la roca), sino también de forma parcial a los fragmentos cristalinos y demás componentes de menor cantidad (GALÁN y VERA MARTÍN, 2009). Esta característica es muy importante en el conocimiento del origen de procesos complejos. Siendo posible la generación de soluciones de muchos componentes, cuyos reactivos y dinámica del agua ayuda al desarrollo de modelos particulares con estructuras únicas, implicado también en el origen de geoformas diversas (GALÁN, 2010; GALÁN y NIETO, 2010).

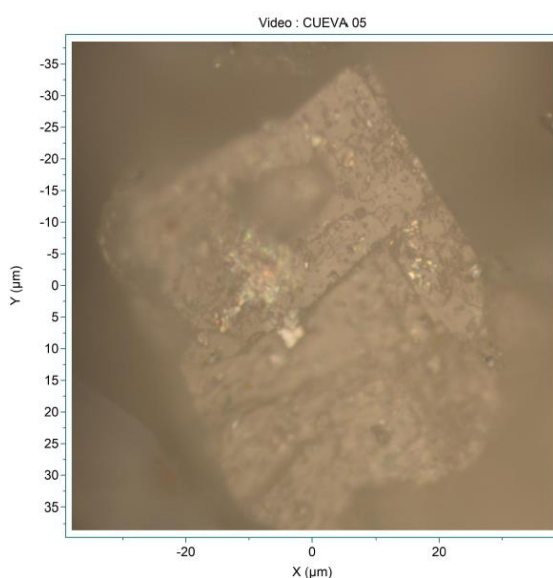


Figura 9. Imagen óptica de cristales de dolomita de la Cueva de las Lechuzas

Haciendo un análisis espacial, los resultados indican que, existe una relación inversamente proporcional con respecto a la presencia de dolomita, con un aumento en la precisión y pureza espectral de la dolomita conforme se muestrea al interior de la cueva (Figura 10 y 11)

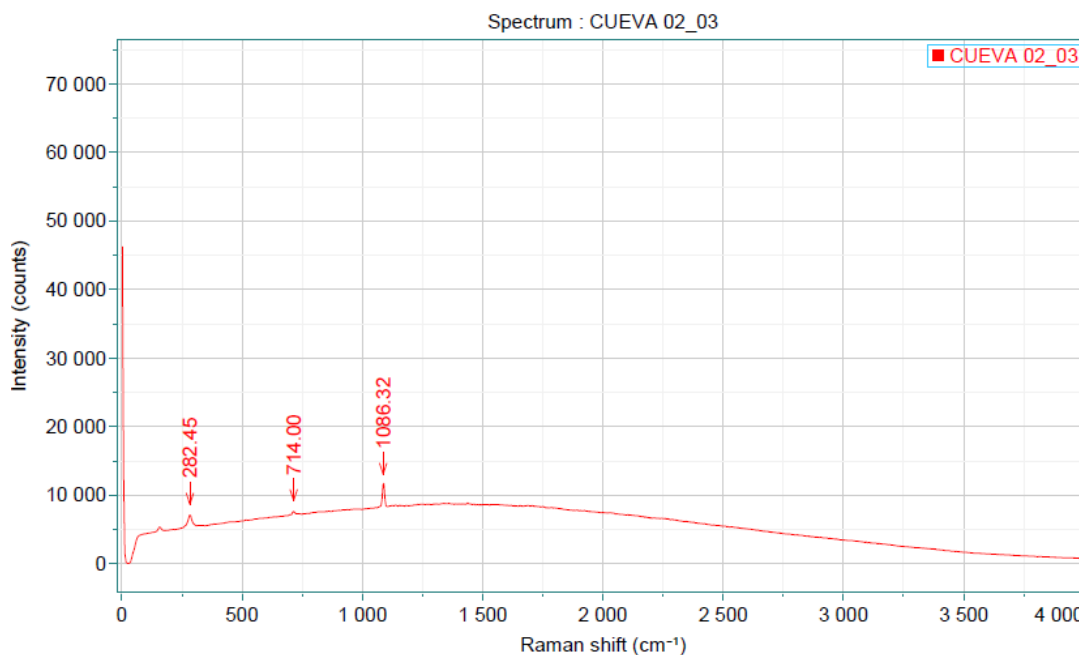


Figura 10. Espectro Raman de muestra 02 de la Cueva de las Lechuzas

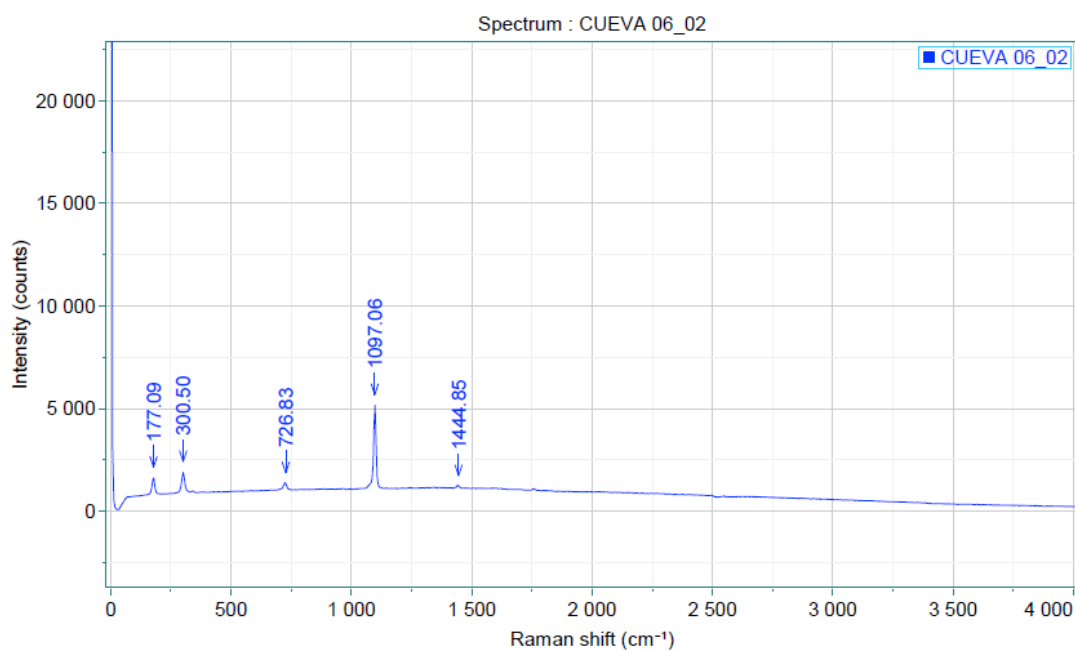


Figura 11. Espectro Raman de muestra 06 de la Cueva de las Lechuzas

Durante dichos sucesos la dinámica de las reacciones en las soluciones del acuífero genera procesos de convección y difusión, involucrado en el origen de celdas hexagonales y precipitación rítmica en bandeados irregulares y concéntricos (GALÁN, 2010; SIMOYI, 1999).

V. CONCLUSIONES

1. La estructura molecular de las espeleotemas de la Cueva de las lechuzas está compuesta principalmente por grupos éteres ($\text{RCH}_2\text{-O-CH}_2\text{R}$), halógenos (C-F), compuestos de silicio (Si-O-Si), compuestos de azufre (C=S) y compuestos de fósforo (P=S).
2. Las espeleotemas de la Cueva de las Lechuzas poseen compuestos de carbonatos principalmente dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)$) en los rangos de 282 cm^{-1} y 1085 cm^{-1} y en menor proporción yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) en los rangos de 1002 cm^{-1} , 488 cm^{-1} , 1132 cm^{-1} , 613 cm^{-1} y 666 cm^{-1} .

VI. PROPUESTA A FUTURO

1. Seguir con la investigación, pero considerando otras cuevas de la provincia de Leoncio Prado o el Perú, debido que toda cueva podría ser única en su composición y con el fin de considerar otros factores y mejorar la relación de resultados.
2. Considerar un muestreo del suelo para el estudio en la misma zona, debido a que siempre va a existir una relación de los compuestos encontrados con la formación y fertilidad del suelo.
3. Realizar el mismo estudio, pero considerando las capas de espeleotemas, puesto que cada capa simboliza una formación de la espeleotema y por lo tanto se podrán encontrar otros compuestos.

CRYSTAL MINERAL COMPONENTS PRESENT IN THE CAVE OF THE OWLS OF THE TINGO MARÍA NATIONAL PARK, LEONCIO PRADO

VII. ABSTRACT

The present study seeks to identify the mineral components present in the Cave of the Owls of the Tingo María National Park, Leoncio Prado by using a spectroscopic technique (Raman), for this the molecular structure of the crystalline minerals of speleothems and speleothems must be determined. identify the minerals present in the speleothems of the cave of the owls Tingo María. The research methodology was carried out following the guidelines of CASTILLO (2014) the analysis of cave fragments and GÁZQUEZ *et al* (2014) for the use of Raman Spectroscopy, for them the sample had to be extracted with a punch and taken to the laboratory, the samples were dried in an oven at 60 °C for 2 hours, then crushed and weighed at 5 g each. The mineralogy analysis by Raman spectroscopy was carried out using a 638 nm HeNe laser coupled to an EMCCD detector, observed with an optical fiber with a diameter of 200 μm and magnification from 5X to 50X. The results obtained indicate that: 1) The molecular structure of the speleothems of Cueva de las Lechuzas is mainly composed of ethers (RCH₂-O-CH₂R), halogens (CF), silicon compounds (Si-O-Si), sulfur compounds (C = S) and phosphorus compounds (P = S). 2) The speleothems of Cueva de las Lechuzas have carbonate compounds mainly dolomite (CaMg (CO₃)) in the ranges of 282 cm^{-1} and 1085 cm^{-1} and to a lesser extent gypsum (CaSO₄.2H₂O) in the ranges of to 1002 cm^{-1} , 488 cm^{-1} , 1132 cm^{-1} , 613 cm^{-1} and 666 cm^{-1} .

Keywords: Mineral components, owl cave, Raman spectroscopy, speleothem.

VIII. REFERENCIAS

- BELLIDO, B.E.; FRANK, S. 1957. Memoria explicativa del mapa geológico del Perú. Sociedad Geológica del Perú. Lima, Perú. 73 p.
- CASTILLO, I. 2014. Análisis de la superficie de los cristales de la Cueva de las Espadas de Naica. Tesis. Centro de Investigación en Materiales Avanzados Departamento de Estudios de Posgrado. 106 p.
- DOLLFUS, 1965. Los Andes centrales de Perú y sus montañas. Tomo II. Edit. Andins. Lima. 82 p.
- EDWARDS H.G.M. 2004. Raman spectroscopic protocol for the molecular recognition of key biomarkers in astrobiological exploration. *Origins Life Evolution Biospheres*. 34: 3-11
- FINCH, A., PAUL A., GRAHAM, P., WEEDON, K. 2001. Trace element variation in speleothem aragonite: potential for palaeoenvironmental reconstruction. *Earth and Planetary Science Letters*. 186: pp. 255-267.
- FORD, D., WILLIAMS, P. 2007. *Karst Hydrogeology and Geomorphology* (revised edition): Chichester, West Sussex, John Wiley y Sons Ltd. 562 p.
- FORTI, P. 2007. Sampling or not? What kind of data can be extracted from a cave? Some easy rules to conduct science in-caves with minimal impact. *Focus* (Universidad Interamericana de Puerto Rico), VI(1-2), pp. 45-56.
- FORTI, P. 1996. Speleothems and cave minerals in gypsum caves. *International Journal of Speleology*. 25(3-4): pp. 91-104.
- FRITZ J., GRESHAKE A., STÖFFLER D. 2005. Micro-Raman spectroscopy of plagioclase and maskelynite in Martian meteorites: Evidence of progressive shock metamorphism. *Antarctic Meteorite Research (NIPR)*. 18: 96-116.
- GALÁN, C. 2010. Patrones y estructuras disipativas en cuevas y geoformas del pseudokarst de Jaizkibel. Página web aranzadi-sciences.org, 28 p.
- GALÁN, C. y M. NIETO. 2010. Bandas de Moebius, Boxworks y otras raras Geoformas en arenisca de la Formación Jaizkibel. Pag web aranzadisciences.org, Archivo PDF, 30 p.

- GALAN y VERA MARTIN. 2009. Espeleotemas de cuarzo y silicatos de hierro y aluminio, en una cueva hidrológicamente activa en arenisca de la formación Jaizkibel (Gipuzkoa, país Vasco): descripción general de la cavidad y caracterización química por espectroscopía Raman y difracción de rayos X (DRX). España. 12 p.
- GALLEGO, A. 2009. Instrumento portátil para medición de compuestos fenólicos en vino tinto usando espectroscopía Raman. Pontificia Universidad Católica de Chile Escuela de Ingeniería. Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias de Ingeniería. 76 p.
- GAMS, I. 1965. Versuch einer Klassifikation derr Tropfsteinformen in der Grotte von Postojna. Proc. 4th International Congress of Speleology, Ljubljana. 3: pp. 117-126.
- GÁZQUEZ, F., CALAFORRA, J. M., RULL, F., FORTI, P. y GARCÍA-CASCO, A. 2012a. Organic matter of fossil origin in the amberine speleothems from El Soplao Cave (Cantabria, Northern Spain). *International Journal of Speleology*. 41(1), pp. 113-123.
- GÁZQUEZ, F., RULL, F., MEDINA, J., CALAFORRA, J. M., FORTI, P., DE WAELE, J., VENEGAS, G. y SANZ, A. 2013. Glaucozerinite forming gourds in Su Zurfuru Mine (Sardinia, Italy). *Revista de la Sociedad Española de Mineralogía, Macla*, 17, pp. 53-54.
- GÁZQUEZ, F., RULL, F., CALAFORRA, J. M., VENEGAS, G., MANRIQUE, J. A., SANZ, A., MEDINA, J., CATALÁ-ESPÍ, A., SANSANO, A., NAVARRO, R., FORTI, P., DE WAELE, J. y MARTÍNEZ-FRÍAS, J. 2014b. Caracterización mineralógica y geoquímica de minerales hidratados de ambientes subterráneos: implicaciones para la exploración planetaria. *Estudios Geológicos*, 70(2) 122 p.
- GRIFFITH, W.P. 1969. The Raman spectroscopy of minerals. *Nature*. 224: 264.
- GRIFFITHS J. 2008. A brief history of mass spectrometry. *Analytical chemistry*, 80: 5678-5683.
- HILL, C.A., FORTI, P. 1997. *Cave minerals of the World 2*. National Speleological Society, Huntsville. 461 p.
- HOLDRIDGE, L. 1987. *Ecología basada en zonas de vida*. Trad. por Humberto Jiménez Saa. 20 p.

- INRENA. 2004. Plan Maestro del Parque Nacional Tingo María. Tingo María, Huánuco. 283 p.
- MARTÍNEZ-ARKARAZO, I., ANGULO, M., ZULOAGA, O., USOBIAGA, A., MADARIAGA, J.M. 2007. Spectroscopic characterisation of moonmilk deposits in Pozalagua tourist Cave (Karrantza, Basque Country, North of Spain). *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 68(4): 1058-1064.
- MARTONNE, E. 1964. Tratado de geografía y física. Editorial Juventus. Tomo I. Barcelona, España. 144 p.
- MOORSE, G.W. 1952. Speleothem: a new cave term. *National Speleological Society News*. 10: pp. 2-6.
- NUÑEZ, A. 1967. Clasificación genética de las cuevas de Cuba. Academia de ciencias de Cuba, La Habana. 224 p.
- ONAC, B.P., FORTI, P. 2011. Minerogenetic mechanisms occurring in the cave environment: an overview. *International Journal of Speleology*. pp. 79-98.
- PAGLIARA, A., De WAELE, J., FORTI, P., GALLI, E. y ROSSI, A. 2010. Speleothems and speleogenesis of the hypogenic Santa Barbara cave system (South-West Sardinia, Italy). *Acta Carsologica*, 39(3), pp. 551-564.
- PULGAR, J. 1938. Las ocho regiones naturales del Perú. Lima, Perú. s.p.
- RAIMONDI, A. 1942. Notas de viajes para su obra El Perú. Tomo I. Imprenta Torres Aguirre. Lima. 54 p.
- RULL, F. y MARTINEZ-FRÍAS, J. 2006. Raman spectroscopy goes to Mars. *Spectroscopy Europe*, 1: 18–21.
- SIMOYI, R. 1999. Pattern formation and symmetry-breaking bifurcations fuelled by dissipation of chemical energy: a possible model for morphogenesis? *Pure Appl. Chem.*, 71 (6): 1007-1017.
- SKOOG, D.A., HOLLER, F.J., CROUCH, S.R. 2008. Espectroscopía Raman. En: Principios de análisis instrumental (Cengage learning, México D.F.) pp. 481-495

- SPÖTL, C.; MATTEY, D. 2012. Scientific drilling of speleothems – a technical note. *International Journal of Speleology*, 41, pp. 29-34.
- STEPANOV, V.I. 1971. Studies of Khaidarkan caves, both hydrothermal and cold: in Velikii, A. S., Volgin, V. J., Inavov, V. S., Stepanov, V. I. (eds.) Structural features and genetic sequence for some central Asian Hg-Sb depositions, Unpub. Rept. IMGRE All-Russian Geological Foundation. pp. 184-220.
- ULLASTRE, J. 1973. Aportación de conocimiento geoespeleológico de algunas regiones kársticas del Perú. *Espeleon*. Tomo XX. 61 p.
- WHITE, W.B. 2006. Identification of cave minerals by Raman spectroscopy: new technology for non-destructive analysis. *International Journal of Speleology*. 35(2): 103-107.

ANEXO

Anexo 1. Panel fotográfico



Figura 12. Entrada al Parque Nacional Tingo María – Zona Turística Cueva de las Lechuzas



Figura 13. Medición de puntos de muestreo en la entrada, zona media y final de la Cueva de las Lechuzas.



Figura 14. Muestreo de Estalagmita en la zona de la entrada en la Cueva de las Lechuzas



Figura 15. Inserción del formón en estalagmita en la zona de la entada de la Cueva de las Lechuzas.



Figura 16. Muestreo de estalactitas en la zona de la entrada en la Cueva de las Lechuzas



Figura 17. Muestreo de paredes en la zona intermedia de la Cueva de las Lechuzas.



Figura. 18. Etiquetado de muestras de la Cueva de las Lechuzas.

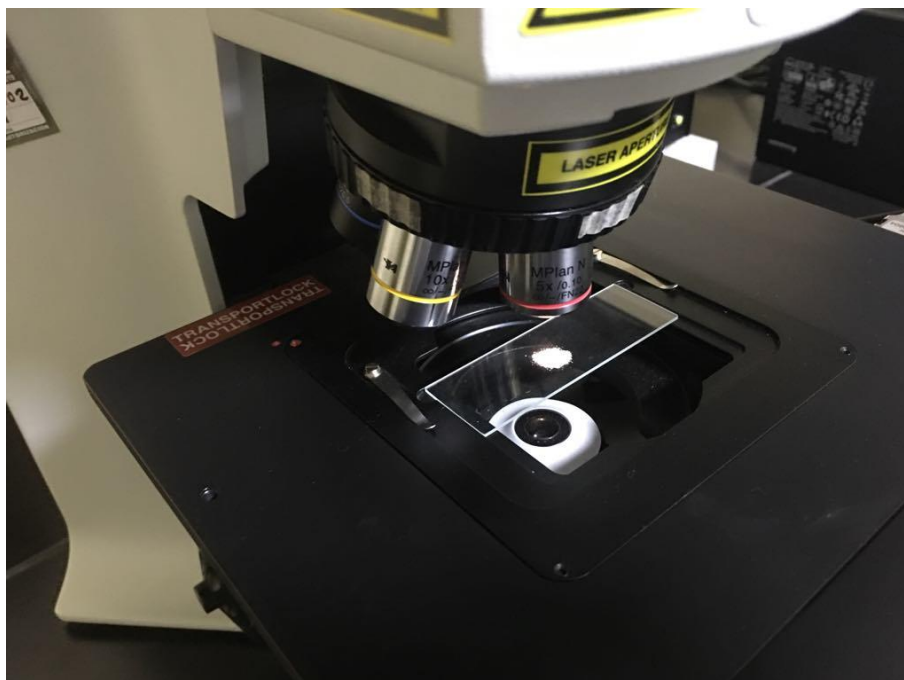
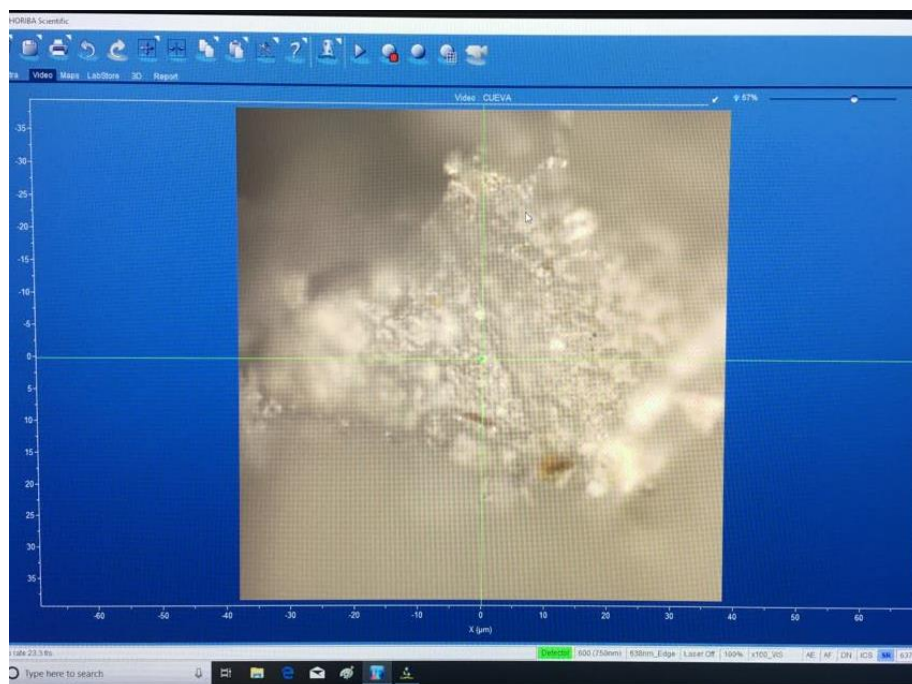


Figura 19. Muestra de la cueva lista para el análisis en el espectrómetro Raman



Figur 20. Muestra de la cueva observada a 50X en el espectrómetro Raman

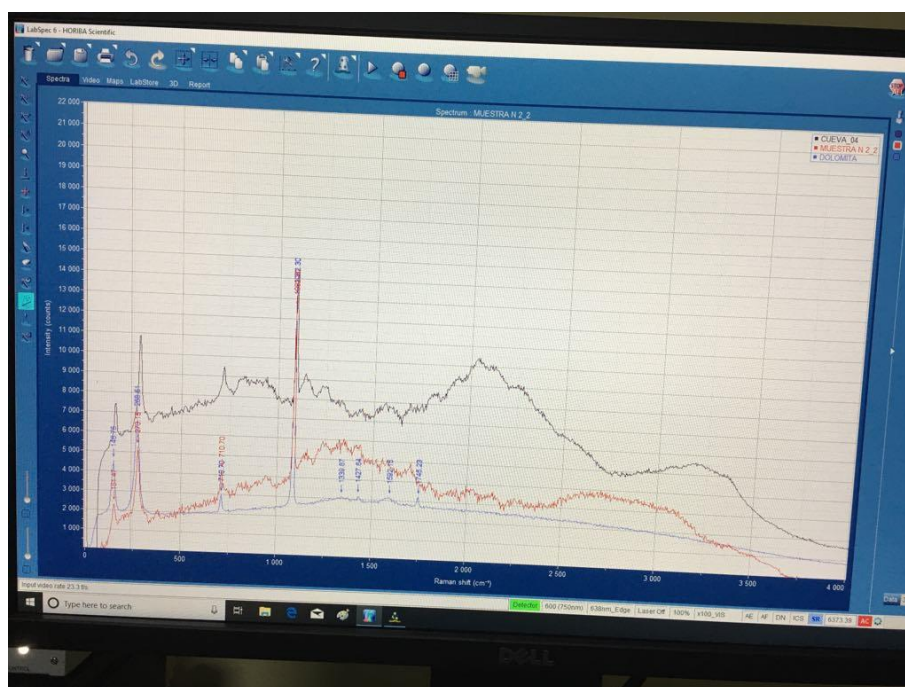


Figura 21. Observación de los primeros espectros de las muestras de la Cueva de las Lechuzas