

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



PRESENCIA DE GASES, BACTERIAS Y FUNGI EN EL RECORRIDO
TURÍSTICO INTERIOR DE LA CUEVA DE LAS LECHUZAS DEL
PARQUE NACIONAL TINGO MARIA 2023

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR:

RIVERA PANDURO, CRISTIAN DOMINGO

Tingo María - Perú

2024



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N° 123-2024-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 10 de diciembre de 2024, a horas 10:30 a.m. de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

**“PRESENCIA DE GASES, BACTERIAS Y FUNGI EN EL RECORRIDO
TURÍSTICO INTERIOR DE LA CUEVA DE LAS LECHUZAS DEL PARQUE
NACIONAL TINGO MARÍA 2023”**

Presentado por el Bachiller: **RIVERA PANDURO, CRISTIAN DOMINGO**, 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, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL** que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 27 de diciembre de 2024


Mtblgo. M. Sc. **LUIS ALBERTO SANCHEZ ROMERO**
PRESIDENTE


Blgo. M. Sc. **CESAR AUGUSTO GOZME SULCA**
MIEMBRO




Ing. M. Sc. **ANGIE TATYANA FERNANDEZ ESCOBAR**
MIEMBRO


Dr. **VICTOR MANUEL BETETA ALVARADO**
ASESOR



"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 045 - 2025 - 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 Ambiental

Tipo de documento:

Tesis

X

Trabajo de Suficiencia Profesional

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
PRESENCIA DE GASES, BACTERIAS Y FUNGI EN EL RECORRIDO TURÍSTICO INTERIOR DE LA CUEVA DE LAS LECHUZAS DEL PARQUE NACIONAL TINGO MARIA 2023	RIVERA PANDURO, CRISTIAN DOMINGO	07 % Siete

Tingo Maria, 03 de febrero de 2025



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

Dr. Tomás Menacho Mallqui

FFE

C.C. Archivo

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



PRESENCIA DE GASES, BACTERIAS Y FUNGI EN EL RECORRIDO
TURÍSTICO INTERIOR DE LA CUEVA DE LAS LECHUZAS DEL
PARQUE NACIONAL TINGO MARIA 2023

Autor	: Bach. Cristian Domingo, Rivera Panduro
Asesor	: Dr. Víctor Manuel, Beteta Alvarado
Programa de investigación	: Ciencias y Tecnologías Ambientales
Línea de investigación	: Niveles de contaminación ambiental
Eje temático	: Contaminación del aire
Lugar de ejecución	: Parque Nacional Tingo María
Duración del trabajo	: Siete meses
Financiamiento	: S/. 4 308,26

Tingo María – Perú

2024

**VICERRECTOR DE INVESTIGACION
OFICINA DE INVESTIGACION**



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

**REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCION DEL
TITULO UNIVERSITARIO, INVESTIGACION DOCENTE
Y TESISTA**

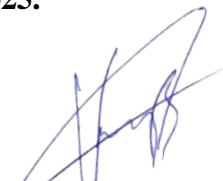
(Resol. N°113-2019-CU-R-UNAS)

1. Datos Generales de Pregrado

Universidad	: Universidad Nacional Agraria de la Selva
Facultad	: Facultad de Recursos Naturales Renovables
Título de tesis	: Presencia de gases, bacterias y fungi en el recorrido turístico interior de la Cueva de las Lechuzas del Parque Nacional Tingo María 2023
Autor	: Bach. Cristian Domingo, Rivera Panduro
Asesor de Tesis	: Dr. Víctor Manuel, Beteta Alvarado
Escuela Profesional	: Ingeniería Ambiental
Programa de investigación	: Ciencias y Tecnologías Ambientales
Línea de investigación	: Niveles de contaminación ambiental
Eje temático	: Contaminación del aire
Lugar de ejecución	: Parque Nacional Tingo María
Duración del trabajo	: Siete meses
	Inicio : Setiembre 2023
	Término : Marzo 2024
Financiamiento	: FEDU : S/ 0,00
	Propio : S/. 4 308,26
	Otros : S/ 0,00

Tingo María, Perú, Febrero 2025.


Cristian Domingo Rivera Panduro
Tesista


Dr. Víctor Manuel Beteta Alvarado
Asesor

DEDICATORIA

A mi Señor y mi Dios, que en el transcurso de esta investigación, me reveló su Evangelio a través de su Palabra; me llamó de las tinieblas a su Luz admirable, siendo permanentemente su apoyo en esta nueva etapa de mi vida.

A mis padres Víctor y Margarita, pilares y fundamento de mi vida, y ahora también hermanos en la fe. Por su paciencia, apoyo incondicional y ejemplo en el desarrollo de mi vida como persona.

A mis hermanos Jonathan y Lisbeth, que de igual forma que mis padres, son pilares en mi vida y hermanos en Cristo. Por ser ejemplos y apoyo constante en mi vida, desde mi niñez hasta mi adultes.

A mis hermanos en Cristo, y en especial, para todos los miembros de la Iglesia Bíblica Gracia y Verdad, por aceptarme con amor y ayudarme en el desarrollo de mi vida cristiana.

AGRADECIMIENTO

- A Dios, por guiarme, protegerme y permitirme acabar esta investigación, y ahora, en esta nueva etapa profesional de mi vida, sé que nada escapará de su soberanía.
- A mi alma mater, a la Universidad Nacional Agraria de la Selva, que, por medio de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y sus docentes, aulas y laboratorios, adquirí los conocimientos fundamentales para la elaboración de la presente investigación.
- A mi asesor, el Dr. Víctor Manuel Beteta Alvarado, por haberme aceptado como mi asesor e impartirme la guía y conocimientos necesarios para la elaboración, ejecución y redacción de esta investigación, así como capacitarme y facilitarme los equipos necesarios para la ejecución de esta tesis.
- Al Dr. César Samuel López López, por su inmediato apoyo para el ingreso al Laboratorio de Microbiología de la UNAS, el cuál fue fundamental para esta investigación.
- Al Ing. Richard Sias Rodríguez, por su amabilidad y paciencia en apoyarme constantemente en los análisis microbiológicos realizados, así como su apoyo moral en la realización de estos.
- A mis padres Víctor Raúl Rivera Rojas y Margarita Panduro Torres, por su apoyo incondicional en todo aspecto de la realización de la presente investigación.
- A mis hermanos, por su apoyo y ánimos para realizar y terminar con éxito esta investigación.
- A mi amigo Danny Estrada Vásquez, por su constante aliento y apoyo de diferentes maneras para realizar este trabajo de investigación.

INDICE

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos.....	1
1.1.1. Objetivo general	1
1.1.2. Objetivos específicos	2
II. REVISION DE LITERATURA	3
2.1. Estado de arte.....	3
2.1.1. Antecedentes Internacionales	3
2.1.2. Antecedentes nacionales	4
2.2. Parque Nacional Tingo María	5
2.2.1. Cueva de las Lechuzas	5
2.3. Calidad de aire	7
2.3.1. Calidad de aire en cuevas turísticas	7
2.4. Contaminación del aire	8
2.4.1. Contaminación del aire por procesos biológicos	9
2.5. Gases contaminantes.....	10
2.5.1. Monóxido de carbono y sus fuentes	10
2.6. Microorganismos patógenos del aire	10
2.6.1. Bacterias y fungi patógenos del aire	11
2.7. Estándares y normativas del aire	11
2.7.1. Estándares para parámetros microbiológicos del aire	11
2.7.2. Estándares para gases presentes en el aire	12
III. MATERIALES Y MÉTODOS	13
3.1. Área de estudio	13
3.1.1. Ubicación política	13
3.1.2. Ubicación geográfica	13
3.2. Materiales y equipos	13
3.2.1. Materiales de campo	14
3.2.2. Materiales y reactivos de laboratorio	14
3.2.3. Equipos de campo y laboratorio.....	14
3.3. Criterio y análisis de investigación.....	14
3.3.1. Tipo de investigación	14
3.3.2. Nivel de la investigación	14

3.3.3. Variables	14
3.3.4. Diseño de investigación	15
3.4. Metodología.....	15
3.4.1. Determinación de los puntos de muestreo y frecuencia.....	15
3.4.2. Determinación de la concentración de los gases O ₂ , CO, y CO ₂ del interior de la Cueva de las Lechuzas.....	17
3.4.3. Determinación de carga bacteriana y fúngica del aire interior de la Cueva de las Lechuzas	18
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	21
4.1. Determinación de las concentraciones de los gases O ₂ , CO, y CO ₂ del interior de la Cueva de las Lechuzas.	21
4.1.1. Análisis estadístico.....	25
4.1.2. Comparación con los estándares para gases.....	27
4.2. Determinación de la carga bacteriana del aire del recorrido turístico de la Cueva de las Lechuzas.....	29
4.2.1. Análisis estadístico.....	31
4.2.2. Comparación con el estándar para carga bacteriana en el aire.....	32
4.3. Determinación de la carga fúngica del aire del recorrido turístico de la Cueva de las Lechuzas.....	33
4.3.1. Análisis estadístico	34
4.3.2. Comparación con el estándar para carga fúngica en el aire	35
V. CONCLUSIONES	37
VI. PROPUESTAS A FUTURO	38
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39
VIII. ANEXOS	43

INDICE DE TABLAS

Tabla	Pág.
1. Concentraciones de gases en el aire ambiental en áreas dentro de las cuevas de hielo fumarólicas del Monte Rainier, 2015–2017.	3
2. Fuentes de contaminación del aire en ambientes urbanos.....	8
3. Concentraciones de gases IDLH	10
4. Niveles de contaminación del aire en ambientes interiores no industriales por concentración bacteriana.	11
5. Niveles de contaminación del aire en ambientes interiores no industriales por concentración de hongos.	11
6. Valores límite permisibles para agentes químicos del aire en el ambiente de trabajo .	12
7. Directrices sobre la calidad del aire para CO (tiempos promedio cortos).....	12
8. Puntos de muestreo de la calidad del aire del interior de la Cueva de las Lechuzas	16
9. Gases y rangos de detección.....	17
10. Concentraciones promedio de gases y factores ambientales.....	21
11. ANOVA para las concentraciones de CO ₂ por punto de muestreo	25
12. Prueba tukey entre los puntos de muestreo para CO ₂	26
13. Carga bacteriana promedio en cada punto de muestreo	30
14. ANOVA para la carga bacteriana por punto de muestreo	31
15. Prueba Tukey entre los puntos de muestreo para la carga bacteriana	31
16. Carga fúngica promedio por cada punto de muestreo	33
17. ANOVA para la carga fúngica por punto de muestreo	34
18. Prueba Tukey entre los puntos de muestreo para la carga fúngica.....	35
19. Concentraciones de gases y factores ambientales por punto de muestreo	48
20. Carga bacteriana por punto de muestreo	48
21. Carga fúngica por punto de muestreo.....	49

INDICE DE FIGURAS

Figura	Pág.
1. Mapa de la Cueva de las Lechuzas y ubicación de estalagmitas.....	6
2. Ubicación geográfica de la Cueva de las Lechuzas – PNTM.....	13
3. Diseño no experimental de esta investigación.....	15
4. Esquema de los puntos de muestreo en el recorrido turístico de la Cueva de las Lechuzas	16
5. Valores medios CO y CO ₂ en partes por millón (ppm).....	22
6. Valores medios de O ₂ en porcentaje (%).....	22
7. Valores medios temperatura en °C	23
8. Valores medios humedad relativa en porcentaje (%HR).....	23
9. Comparación con el límite de la OMS para CO	27
10. Comparación con los límites del MINSA para CO ₂	28
11. Comparación con el umbral mínimo de la MITECO para O ₂	29
12. Carga bacteriana promedio	30
13. Niveles de contaminación según la ECA para la carga bacteriana.....	32
14. Carga fúngica promedio	33
15. Niveles de contaminación según la ECA para la carga fúngica	36
16. Carta 42-2024-SERNANP-PNTMA	44
17. Carta 41-2024-SERNANP-PNTMA, página 1.....	45
18. Carta 41-2024-SERNANP-PNTMA, página 2.....	46
19. Autorización de préstamo de detector de gases RKI GX-6000.....	47
20. Preparación de los medios para el muestreo microbiológico de aire	50
21. Ingreso al Parque Nacional Tingo María con la autorización del SERNANP	50
22. Muestreo microbiológico de hongos del aire en PM1	51
23. Monitoreo de gases y factores ambientales en PM1.....	51
24. Muestreo microbiológico de bacterias del aire de la cueva en PM2	52
25. Muestreo de gases y factores ambientales de la cueva en PM2	52
26. Muestreo microbiológico de hongos del aire de la cueva en PM3	53
27. Muestreo de gases y factores ambientales de la cueva en PM3	53
28. Muestreo microbiológico de hongos del aire de la cueva en PM4.....	54
29. Muestreo de gases y factores ambientales de la cueva en PM4	54
30. Sembrado del inóculo para recuento de bacterias	55

31. Recuento de colonias bacterianas	55
32. Recuento de colonias fúngicas	56
33. Sembrado del inóculo para recuento de fungis.....	56

RESUMEN

El objetivo del presente estudio es determinar la presencia de gases, bacterias y fungi en el recorrido turístico de la Cueva de las Lechuzas del Parque Nacional Tingo María por medio de la determinación de la concentración de gases, determinación de la carga bacteriana y carga fúngica del aire de la cueva, ya que no existen estudios previos que hayan evaluado la presencia de estos parámetros del aire de esta cueva, y por lo tanto se desconoce si existe su presencia y si estos cumplen o no los estándares y normativas nacionales e internacionales del aire. Se evaluaron 04 puntos de muestreo distintos (PM1, PM2, PM3 y PM4), de los cuales uno es un testigo a las afueras de la cueva (PM1), en 05 repeticiones, obteniendo que en lo que respecta a los gases, estos cumplieron con los estándares establecidos para calidad del aire, el CO estuvo ausente en todos los muestreos, el CO₂ no superó en promedio los 358,7ppm, y los niveles de O₂ siempre se mantuvieron por encima del 19,5%. Mientras que para la carga fúngica, en uno de los puntos de muestreo (PM3) se obtuvo un nivel de contaminación del aire “Alta” según la OMS, para carga bacteriana, todos los puntos de muestreo se clasificaron como contaminación del aire “Muy alta”, destacándose PM4 con 13488 UFC/m³. Los niveles de CO₂, carga bacteriana y fúngica fueron significativamente más elevados en los puntos más profundos de la cueva (PM3 y/o PM4), con respecto al testigo (PM1), según las pruebas estadísticas de ANOVA y tukey.

Palabras clave: Cuevas, presencia de gases, calidad del aire, contaminación del aire, Parque Nacional Tingo María, carga microbiológica.

The Presence of Gasses, Bacteria and Fungi on the Tourist Trail Inside the Cueva de Las Lechuzas in the Tingo Maria National Park During 2023

Abstract

The objective of the present study was to determine the presence of gasses, bacteria and fungi on the tourist trail inside the Cueva de las Lechuzas in the Tingo María national park by determining the concentration of gasses, determining the bacterial charge and the fungal charge in the air from the cave, since no previous studies exist that have evaluated the presence of these parameters for the air from this cave, and thus, it is unknown if their presence exists and if they comply or not with the national and international standards and norms for air. Four distinct sampling points were evaluated (PM1, PM2, PM3 and PM4), of which, one was a control just outside the cave (PM1), [there were] five repetitions, [where it was] obtained that, with respect to the gasses, these comply with the standards established for the air quality, the CO was absent in all of the samples and the CO₂ did not surpass 358.7ppm on average, and the O₂ levels always stayed above 19.5%. Meanwhile, for the fungal charge, at one of the sampling points (PM3) a “high” level of air contamination was obtained according to the WHO (OMS in Spanish); for the bacterial charge, all of the sampling points were classified as having “very good” air contamination, with PM4 standing out at 13488 UFC/m³. The levels of CO₂, bacterial charge and fungal [charge] were significantly more elevated at the points [that were] deeper into the cave (PM3 and/or PM4), with respect to the control (PM1), according to the ANOVA and Tukey statistical tests.

Keywords: caves, presence of gasses, air quality, air contamination, Tingo Maria national park, microbiological charge

I. INTRODUCCIÓN

A nivel nacional, el Perú cuenta con una red de parques nacionales que constituyen una invaluable riqueza natural y cultural. Estos parques se encuentran distribuidos en diversas regiones del país y tienen como propósito fundamental, preservar la diversidad biológica y los ecosistemas únicos que albergan. Cada parque nacional posee características y atractivos particulares, desde imponentes montañas y extensas selvas amazónicas hasta fascinantes desiertos costeros y áreas marinas protegidas.

El Parque Nacional Tingo María (PNTM), es el lugar de mayor importancia para la conservación de fauna y flora en la provincia de Leoncio Prado, ya que, en esta se realiza múltiples investigaciones científicas con este fin, desde diversidad de especies arbóreas, hasta temas tan específicos como estado situacional de la población de guácharos de la Cueva de las Lechuzas. Sin embargo, las investigaciones no solo se centran en el aspecto de conservación, sino también en tener un turismo más diversificado y sostenible, ya que sino el turismo podría alterar las condiciones ambientales como las del componente aire del parque, afectando así a la flora y fauna presente. Y, el estado peruano, por medio del SERNANP, si bien se esfuerza por conservar el ecosistema de esta cueva, está muy lejos de preocuparse de igual manera por la salud de sus visitantes (turistas) que ingresan en ella.

El PNTM en el año 2021 contó con 118 599 visitantes, siendo, con gran diferencia, el lugar turístico con mayor cantidad de visitantes dentro de la región de Huánuco, de los cuales, la mayoría, tienen como destino final la visita al interior de la Cueva de las Lechuzas, estos visitantes llegan a ser en promedio más de 324 al día, entre turistas y locales que visitan el PNTM y, por ende, la Cueva de las Lechuzas (MINCETUR, 2021). Quedando expuestos a diferentes contaminantes aéreos que puedan encontrarse en el interior de la cueva, ya sean fisicoquímicos (gases) o microbiológicos (bacterias y fungi), que puedan afectar su salud.

Por la importancia del caso expuesto, determinar la calidad del aire en los interiores de la Cueva de las Lechuzas es necesario para responder la siguiente interrogante: ¿Cuál es la Calidad del Aire en los interiores de la Cueva de las Lechuzas del Parque Nacional Tingo María 2023?

Planteando como hipótesis que: Si hay presencia de gases, bacterias y fungi en el recorrido turístico de la Cueva de las Lechuzas.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Determinar la presencia de gases, bacterias y fungi en el recorrido turístico de la Cueva de las Lechuzas del Parque Nacional Tingo María.

1.1.2. Objetivos específicos

- Determinar la concentración de los gases O₂, CO, y CO₂ del recorrido turístico de la Cueva de las Lechuzas.
- Determinar la carga bacteriana del aire del recorrido turístico de la Cueva de las Lechuzas.
- Determinar la carga fúngica del aire interior del recorrido turístico de la Cueva de las Lechuzas.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. Estado de arte

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Según Stenner et al. (2022), los sistemas de cuevas glaciovolcánicas pueden presentar riesgos atmosféricos tanto para escaladores como para investigadores y público en general que visite esas zonas, por ello realizaron su estudio con el fin de informar a los visitantes los niveles de CO₂, O₂ y otros, por ello midieron en diferentes zonas de las cuevas del Monte Rainier en Washington, Estados Unidos, con un equipo de medición de gases portátil modelo “Industrial Scientific MX6 iBrid”, y obtuvo como resultados que las concentraciones muy altas de CO₂ en las cuevas desplazaban el O₂ de estas, tal como se puede apreciar en la Tabla 1.

Tabla 1. Concentraciones de gases en el aire ambiental en áreas dentro de las cuevas de hielo fumarólicas del Monte Rainier, 2015–2017.

Cueva	Nombre del pasaje	Fecha	Concentraciones de gas (%)	
			CO ₂	O ₂
Cráter Este	Main passages	08/2017	<0,3	>20,9
Cráter Este	Main passage	08/2015	1,6	20,6
Cráter Este	Bird Grotto	08/2017	1,6	20,6
Cráter Este	Belly of the Beast	08/2015	10,3	18,9
Cráter Este	Low Loop	08/2017	1,5	20,7
Cráter Oeste	Canary room	08/2017	15,3	17,9
Cráter Oeste	CO ₂ Lake of	08/2017	24,8	16,0
Cráter Oeste	High passages	08/2015	0,25	20,9

Fuente: Stenner et al. (2022).

En la Reserva de Murciélagos de Nietoperek en Polonia, Ogórek et al. (2020) realizaron una investigación sobre las bacterias aéreas presentes en los sitios de hibernación de los murciélagos de la reserva, para ello realizaron muestreos de aire para cultivo de bacterias en 6 ubicaciones, uno externo a los sitios de hibernación subterráneos, y los otros 5 en los mismos sitios de hibernación, estas bacterias fueron incubados a 2 temperaturas y tiempo de incubación diferentes y obtuvieron como resultado que las concentraciones de bacterias en UFC(Unidades Formadoras de Colonias/m³ fue desde los $232 \pm 28,3$ hasta los $1189 \pm 124,7$, siendo que a una incubación de 37 °C las bacterias superaron la barrera de las 800 UFC/m³ en un solo sitio de hibernación, mientras que en el punto de muestreo externo apenas pasó de las 20 UFC/m³.

Ogórek (2018) realizó un estudio en la Cueva de la Libertad Demänovská en Eslovaquia, con la finalidad de diagnosticar la calidad del aire en el lugar, así como conocer nuevas especies fúngicas aéreas que puedan vivir en cuevas, por ello hizo 108 muestreos de

aire en el medio de cultivo agar papa y dextrosa, utilizando el muestreo microbiológico “Air Ideal 3P”, y después de analizadas en laboratorio las muestras, obtuvo como resultado que la carga fúngica dentro de las cuevas (de 86,7 a 126,7 UFC/m³) fueron menores que las muestras que hizo en su testigo en el exterior (391,7 UFC/m³).

En el estudio de Aydoğdu y Şevik (2018) evaluaron la calidad del aire interior de dos cuevas de Turquía, Ilgarini y Mantar, esto con la finalidad de evaluar el comportamiento de la concentración del gas dióxido de carbono (CO₂) en las cuevas, ya que puede haber una afectación para la salud humana cuando las concentraciones de este gas exceden los 1 000ppm, así también analizaron la temperatura (°C) y humedad relativa (%HR) en diferentes puntos de la cueva (tomaron muestras cada 20 metros desde el exterior), obteniendo como resultado, que los valores de CO₂ incrementan a medida se ingresa más al interior de las cuevas, en el caso de la cueva Ilgarini la concentración aumentó desde los 354ppm hasta los 426ppm en 180 metros de recorrido, mientras que en la cueva Mantar aumentó desde los 427ppm hasta los 1250ppm en 60 metros de recorrido, siendo sumamente preocupante, ya que casi triplicó la concentración del aire en el exterior y superó la barrera de los 1000ppm. También se determinó que la temperatura disminuye a medida que se ingresa a las cuevas, entre 7 °C y 8 °C, y por último también concluyeron que la humedad aumenta drásticamente hasta alcanzar valores iguales o cercanos al 100% de humedad relativa.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Hidalgo (2023) en su investigación “Calidad microbiológica del aire del criadero de cerdos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva” realizó el conteo microbiológico del aire del lugar de crianza de los cerdos, obteniendo resultados para las bacterias 200 000 UFC/m³, y para los hongos 304 000 UFC/m³, siendo así que los niveles de contaminación microbiana del aire para el criadero de cerdos según la OMS son muy altos.

Sandoval (2023) estudió el hábitat de del orden de arácnidos Amblypygi (Arachnida) con el objetivo de observar la adaptación al cambio climático de estos arácnidos en el PNTM y sus zonas de amortiguamiento. Uno de los sitios de monitoreo específicos fue la Cueva de las Lechuzas, donde se propuso determinar si existe influencia de la humedad relativa y temperatura en diferentes puntos de la cueva sobre la población de estos arácnidos. Sus monitoreos, realizados en horario nocturno (6:30 p.m. a 11:00 p.m.), revelaron que los valores medios de la temperatura aumentaban progresivamente desde la entrada de la cueva (24,80 °C) hasta el punto más profundo observado, a 240 metros de profundidad (27,53 °C), con una diferencia de 2,73 °C entre ambos puntos. Asimismo, la humedad relativa mostró un

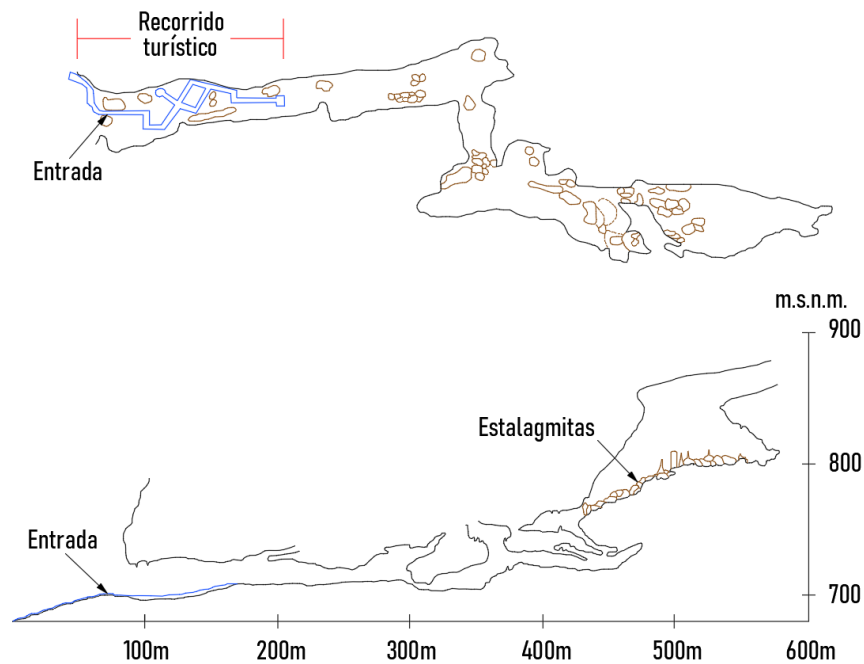
incremento, variando desde el 91.93 %HR en la entrada hasta el 99,98 %HR a los 240 metros de profundidad.

2.2. Parque Nacional Tingo María

El Parque Nacional Tingo María, ubicado en la región Huánuco, es un área natural protegida de gran valor ecológico, con diversas zonas de conservación, entre las que destaca las cataratas Quinceañera, Sol Naciente, Gloriapata, Salto del Ángel, sector Tres de Mayo y la Cueva de las Lechuzas, el cuál es el principal atractivo turístico y hábitat de especies como los guácharos, murciélagos, loros, y más. Esta cueva, al ser un ecosistema frágil, está sujeta a estrictas regulaciones para disminuir la perturbación de las especies que allí habitan y preservar su entorno natural, y, entre las amenazas que enfrenta, se destacan las malas prácticas de algunos visitantes, por ello el Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP) elaboró el “Plan Maestro del Parque Nacional Tingo María 2022-2026”, y esto incluye estrategias para conservar estas áreas claves, gestionando la presión turística de manera que no se comprometan los diferentes servicios ecosistémicos como polinización y provisión de agua, que también son vitales para mantener las condiciones ambientales adecuadas en la cueva y sus alrededores (SERNANP, 2022). Sin embargo todos estos planes de conservación y preservación del ecosistema del parque no tienen en cuenta la calidad del aire como prioridad para la salud de los turistas, investigadores y trabajadores del parque que ingresan a la Cueva de las Lechuzas.

2.2.1. Cueva de las Lechuzas

Se puede entender por cueva a toda cavidad formada naturalmente del subsuelo que pueda o no ser accesible para una persona, y dentro de los diferentes tipos de cueva, tenemos que la Cueva de las Lechuzas del PNTM, es de formación cárstica, esto quiere decir que como la mayoría de las cuevas del mundo, sus rocas son principalmente carbonatadas (calizas, dolomías, mármoles o brechas carbonatadas); la Cueva de las Lechuzas al ser un sitio de atractivo turístico, presenta un recorrido por el cual las personas pueden acceder de manera segura a la cueva, hasta un límite de 240 metros aproximadamente, asimismo la cueva presenta múltiples formaciones de estalagmitas como se aprecia en la Figura 1 (SERNANP, 2022; Pardo y Robledo, 2016; Van, 2009).



Fuente: Modificado de Van (2009)

Figura 1. Mapa de la Cueva de las Lechuzas y ubicación de estalagmitas

El SERNANP (2022) nos menciona que la Cueva de las Lechuzas, es la principal cavidad de apertura a un vasto sistema subterráneo de cavernas en el Parque Nacional Tingo María, que alberga una rica biodiversidad, incluyendo especies como el *Steatornis caripensis*, un ave nocturna típica de la región, esta ave permanece en la cueva durante el día y sale únicamente al anochecer para buscar alimento; además de los guácharos, la cueva es hogar de murciélagos, loros, y otros invertebrados como los amblopígididos, que forman parte de este frágil ecosistema. Debido a su importancia ecológica y su atractivo turístico, la cueva está sujeta a estrictas regulaciones que buscan minimizar el impacto humano. Las malas prácticas de algunos visitantes, como la contaminación lumínica y sonora, podrían afectar tanto a las especies que habitan la cueva como al ambiente en su interior.

2.2.1.1. Guácharo (*Steatornis caripensis*)

El guácharo (*Steatornis c.*), es un ave típica del bosque húmedo que habita en los interiores de cuevas profundas, como la Cueva de las Lechuzas. Estas aves nocturnas son gregarias y salen al atardecer para alimentarse de frutos de árboles de palmera y otros, además de beber de las aguas sulfurosas dentro de la zona de amortiguamiento del área natural protegida. Se orientan mediante un sistema similar al radar, emitiendo graznidos fuertes para volar en la oscuridad. Los guácharos construyen sus nidos en las diferentes cavidades o grietas de la cueva; el periodo reproductivo de la especie ocurre entre los meses de octubre y febrero. (SERNANP, 2017; SERNANP, 2022).

Arostegui (2023) determinó que la dinámica de poblacional (número de individuos que ingresan y salen de la Cueva de las Lechuzas) de estas aves, está relacionado con los factores climáticos como humedad relativa y temperatura. Por ello la importancia de la creación de Planes Maestros para la conservación de estos animales en el PNTM.

Según Torres y Medrano (2020), la actividad de los guácharos (*Steatornis c*) en la Cueva de los Guácharos en Colombia, representa la fuente principal de materia orgánica y nutrientes tanto para el suelo como para los cuerpos de agua dentro de la cueva. Estos aportes provienen principalmente de las heces fecales (guano), las semillas regurgitadas y las plumas que estas aves depositan en el entorno. A medida que estos materiales se descomponen, se acumulan en el suelo de la cueva, enriqueciendo el ecosistema con nutrientes esenciales.

2.3. Calidad de aire

La calidad del aire es el estado o condición de la atmósfera terrestre que en términos de su composición, temperatura y capacidad de renovación puede ser deteriorada por la acción humana o de la naturaleza (Boldo, E., 2016). La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2015) da directrices de la calidad de aire y manifiesta la importancia de gestionar correctamente la calidad del aire que inhalan las personas, abordando la contaminación del aire como tema principal de este, ya que, podemos vernos afectados en cualquier lugar ante una mala calidad del aire, como en entornos al aire libre donde pueden haber exposiciones a niveles altos de contaminación de manera transitoria, y en ambientes interiores de manera constante.

2.3.1. Calidad de aire en cuevas turísticas

A pesar de todas las complicaciones que puedan existir para las personas durante las visitas a las cuevas turísticas, apenas existen estudios científicos que aborden las amenazas y efectos posibles en la salud de los visitantes (Aydoğdu & Şevik, 2018).

La cantidad de cuevas que se ofrecen para el turismo está creciendo sostenidamente, ante ello la necesidad de que se adopten acciones que protejan tanto a las personas, como al ecosistema subterráneo, ya que, centrándonos en las personas, estas pueden contraer enfermedades por transmisión aérea en las visitas a las cuevas turísticas (Molerio, 2002). Molerio (2002), define la calidad del aire de una cueva turística como la “calidad de su atmósfera interior”, siendo la dinámica de la circulación del aire, las propiedades fisicoquímicas y dependencia estacional del exterior, así también da indicadores de la calidad de aire subterránea de una cueva, las cuales son las siguientes:

- Temperatura del aire, del suelo, de las aguas de subterráneas y de goteo, de los sedimentos, del agua de lluvia y roca.

- Caudal y frecuencia de goteo.
- Conductividad eléctrica del agua y nivel de acides.
- Procesos de evaporación y condensación
- Presión atmosférica, humedad relativa y lámina de lluvia
- Gases (en particular el CO y CO₂ entre los que son tóxicos orgánicos y el radón-222 entre los radioactivos).

2.4. Contaminación del aire

Boldo (2016), se refiere a la contaminación del aire como la alteración de la calidad del aire en un entorno específico, ya sea en espacios interiores o exteriores, que puede causar daños tanto a la salud del hombre, como a los distintos ecosistemas presentes. Esta es ocasionada por dos tipos de fuentes distintas: las naturales y las antropogénicas. Las fuentes naturales de contaminación se originan a partir de emisiones volcánicas y marinas, incendios forestales, tormentas de polvo y arena y procesos biológicos.

La contaminación es uno de los riesgos ambientales para la salud que genera mayor preocupación a nivel global, ya que la exposición a este está asociado a una serie de enfermedades y afecciones, entre las que destaca las respiratorias (como neumonía); la contaminación del aire afecta aún más a los niños, ya que estos juegan más cerca del suelo donde las concentraciones de contaminantes son mayores (UNICEF, 2020). Y dentro de un sistema de cuevas, las actividades antropogénicas (humanas) pueden modificar la calidad del aire, su composición y niveles de humedad (Romero, 2009).

La OMS (2022), menciona que los contaminantes del aire que presentan una mayor preocupación por su evidencia para la salud pública son los gases de CO, O₃, NO₂ y SO₂, así como el material particulado (PM). Para conocer las fuentes principales de los contaminantes del componente aire (y los gases que generan) la OMS (2015) nos brinda la siguiente tabla:

Tabla 2. Fuentes de contaminación del aire en ambientes urbanos

MICROAMBIENTES	FUENTES	CONTAMINANTES
Hogar	Cocinas, Espacios calientes, vehículos estacionados, pasatiempos, fumar, productos del hogar, mascotas, roedores, insectos	PM,CO,NO,COV,alérgenos
Entornos de transporte	Vehículos y emisiones industriales, polvo de carretera, contaminación de fondo, fumar	PM, incluido el PM ultrafino, CO, NO _x , O ₃ , COVs, Aero alérgenos, carcinógenos

Calles	Emisiones de vehículos, polvo de carretera, fumar, contaminación de fondo	PM, incluido el PM ultrafino, CO, NO _x , O ₃ , COVs, carcinógenos, plomo
Entornos de trabajo	Procesos industriales, fumar, contaminación de fondo	PM,CO,NO _x ,COVs,carcinogenos
Ambientes de entretenimiento	Cocinas y espacios calientes, contaminación de fondo, fumar	PM, COVs, carcinógenos

Fuente: OMS (2015).

2.4.1. Contaminación del aire por procesos biológicos

Los procesos biológicos afectan directamente a la calidad del aire de un ambiente, ya que lo alteran emitiendo gases contaminantes y microorganismos patógenos, que se dan por procesos como:

- La nitrificación y desnitrificación llevada a cabo por plantas y microorganismos presentes en el suelo.
- Los aerosoles naturales contienen diversas partículas biológicas, como esporas, hongos, algas, células epiteliales, bacterias y virus, todas ellas liberadas o formadas a partir de compuestos provenientes de seres vivos. Estos aerosoles biológicos son de particular importancia para la salud del ser humano, porque pueden ser causantes de distintas enfermedades infecciosas, alérgicas o tóxicas. Es fundamental comprender el papel que desempeñan las fuentes naturales en la calidad del aire, especialmente en el contexto de la salud pública y la protección ambiental.
- La descomposición anaerobia generada por la digestión de organismos herbívoros, lo que produce metano (CH₄).

Así también, la materia orgánica cuando se descompone ocurre en ambientes como en los interiores de las cuevas, que, en mayor o menor grado y dependiendo de la cantidad de materia orgánica presente, intensidad lumínica, cercanía al exterior y otros muchos factores, pueden acelerar o disminuir su velocidad de descomposición y transformación de moléculas orgánicas complejas, en moléculas más simples (Nynne et al., 2020).

2.5. Gases contaminantes

De entre los diferentes gases atmosféricos, hay algunos que son de mayor preocupación, debido a que resultan tóxicos para el ser humano, como los efectos adversos que menciona EMERSON (2023) como enfermedades mareos, respiración irregular, fatiga, náuseas, dolor de cabeza, irritación de cabeza, enfermedades crónicas, e incluso pueden causar la muerte en ciertos niveles de exposición, por ello a continuación se muestran las concentraciones de “Peligro Inmediato para la Salud y la Vida (IDLH)” correspondientes a algunos de estos gases:

Tabla 3. Concentraciones de gases IDLH

Gases	IDLH
Monóxido de carbono - (CO)	1 200 ppm
Sulfuro de hidrógeno - (H ₂ S)	100 ppm
Oxígeno - (O ₂)	< 19,5 % O ₂ por volumen
Dióxido de carbono - (CO ₂)	40 000 ppm

Fuente: Emerson (2023).

2.5.1. Monóxido de carbono y sus fuentes

El monóxido de carbono (CO), es un gas incoloro e inodoro a temperaturas que superan los -90°C, es considerado uno de los cinco principales agentes de contaminación, junto con los compuestos orgánicos volátiles, material particulado, sulfóxidos y nitróxidos, atmosféricamente se encuentra en una concentración de 0.1ppm, de los cuales solo el 10% es por acciones antropogénicas, y el otro 90% proviene de multitudes de fuentes naturales como incendios forestales y la fotooxidación atmosférica del metano (García y García, 2016).

En niveles promedios de $>0.5\%CO_2$ y $\leq 18\%O_2$ atmosféricos en el interior de una cueva, suelen presentarse gases como el CO, este aunque raro en cuevas calizas (kársticas), puede existir su presencia en este tipo de cuevas, de igual modo, el gas CO puede generarse a partir de reacciones de descomposición de materia orgánica en condiciones anaerobias (como las que puede presentar un suelo cubierto de guano en una cueva), junto a otros gases como CO₂, NH₄ y H₂, (Ali et al., 2024; Smith, 1998).

2.6. Microorganismos patógenos del aire

La contaminación del aire impacta principalmente a la salud pública, y esta es dada por microorganismos que no solo afectan de manera directa a la salud de la persona en el área expuesta al origen, sino que por la dispersión de estos microorganismos pueden ser afectadas las poblaciones más lejanas (Olivera et al., 2021).

2.6.1. Bacterias y fungi patógenos del aire

Según Chen et al. (2020) en el aire, los microorganismos como bacterias y hongos suelen provenir del suelo y el agua (a través de las interfaces suelo-aire y líquido-aire), y entre los microorganismos más comunes en la atmósfera se encuentran las bacterias pertenecientes a los filos Firmicutes, Proteobacteria, Bacteroides, Actinobacteria, y Cyanobacteria, así como los fungi de los filos Ascomycota, Basidiomycota, Chytridiomycota y Rozellomycota, muchos de los cuales son patógenos responsables de diversas afecciones de salud humana. Asimismo, diversos factores como las condiciones meteorológicas influyen en la concentración y abundancia de estos microorganismos en el aire.

2.7. Estándares y normativas del aire

2.7.1. Estándares para parámetros microbiológicos del aire

2.7.1.1. Estándares para carga bacteriana y fúngica en el aire

La European Collaborative Action (ECA) (1993) en su preocupación por la calidad del aire interior y su posible impacto en el ser humano, elaboró un reporte sobre las “Partículas biológicas en ambientes interiores”, y en este propuso una estandarización para medir en niveles los grados de contaminación de la calidad del aire por microorganismos como bacterias y hongos, clasificando desde un nivel de contaminación “Muy baja”, hasta “Muy alta” en ambientes interiores no industriales. Para bacterias y hongos elaboraron las siguientes tablas (4 y 5):

Tabla 4. Niveles de contaminación del aire en ambientes interiores no industriales por concentración bacteriana.

Niveles de contaminación	Concentración de bacterias (UFC/m ³)
Muy baja	<50
Baja	50-100
Intermedia	100-500
Alta	500–2 000
Muy Alta	>2 000

Fuente: ECA (1993).

Tabla 5. Niveles de contaminación del aire en ambientes interiores no industriales por concentración de hongos.

Niveles de contaminación	Concentración de hongos (UFC/m ³)
Muy baja	<25
Baja	25-100
Intermedia	100-500

Alta	500–2 000
Muy Alta	>2 000

Fuente: ECA (1993).

2.7.2. Estándares para gases presentes en el aire

El Ministerio de Salud (MINSA) del Perú (2005) en su reglamento legal aún en vigencia, el D.S. N° 015-2005-SA nos brinda los límites para concentraciones de agentes químicos del aire en ambientes de trabajo, esto debido a la toxicidad que pueden causar los diversos compuestos gaseosos presentes en el aire que, a determinadas concentraciones (en algunos casos solo es presencia), son dañinas y peligrosas para la salud de las personas. A continuación, se muestra los valores límites (o solo presencia) que no deben superar los gases CO, y CO₂ según el MINSA:

Tabla 6. Valores límite permisibles para agentes químicos del aire en el ambiente de trabajo

Agentes químicos		Límites adoptados		Notas
Nombre	Símbolo	TWA	STEL	
		ppm	ppm	
Dióxido de carbono	CO ₂	5 000	30 000	

Fuente: MINSA (2005)

TWA: Media ponderada en el tiempo; STEL: Exposición de corta duración; b: Asfixiante simple

La OMS (2021) presenta directrices y recomendaciones sobre las exposiciones máximas a contaminantes atmosféricos a las que puedes estar sometido una persona por cortos periodos de tiempo, por ello enlista los gases de mayor preocupación para la salud humana que pueden afectar a entornos tanto exteriores como interiores, cabe destacar que la OMS realizó estas directrices siguiendo un proceso riguroso de elaboración.

Tabla 7. Directrices sobre la calidad del aire para CO (tiempos promedio cortos)

Contaminante	Tiempo Promedio	Directrices aún válidas
CO, mg/m ³	8 horas	10
	1 hora	35
	15 minutos	100

Fuente: OMS (2021)

El Ministerio de Industria y Energía (MITECO) de España (1985) dicta en su artículo 69, que para proteger la salud del personal obrero de las minas en lo que respecta a la calidad del aire, los niveles de oxígeno no deben ser inferiores al 19 por 100 en volumen (<19% O₂) en ninguna actividad, de lo contrario se deberán tomar las acciones correctivas de inmediato o suspender la actividad.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Área de estudio

3.1.1. Ubicación política

La investigación presente, tuvo lugar en la región Huánuco, provincia de Leoncio Prado, distrito de Mariano Damaso Beraun, en el atractivo turístico “Cueva de las Lechuzas del Parque Nacional Tingo María” (Figura 2 y Figura 4).

3.1.2. Ubicación geográfica

La Cueva de las Lechuzas se ubica en coordenadas UTM – WGS84, 387227 E, 8968585 N, a una altitud de 673 m.s.n.m. Esta cueva se ubica en la selva alta, también conocida como ceja de selva, al margen derecho del Río Monzón. Se ubicó 03 puntos de muestreo al interior de la cueva, y 01 al exterior (testigo), las cuales se detallan en la Tabla 8.

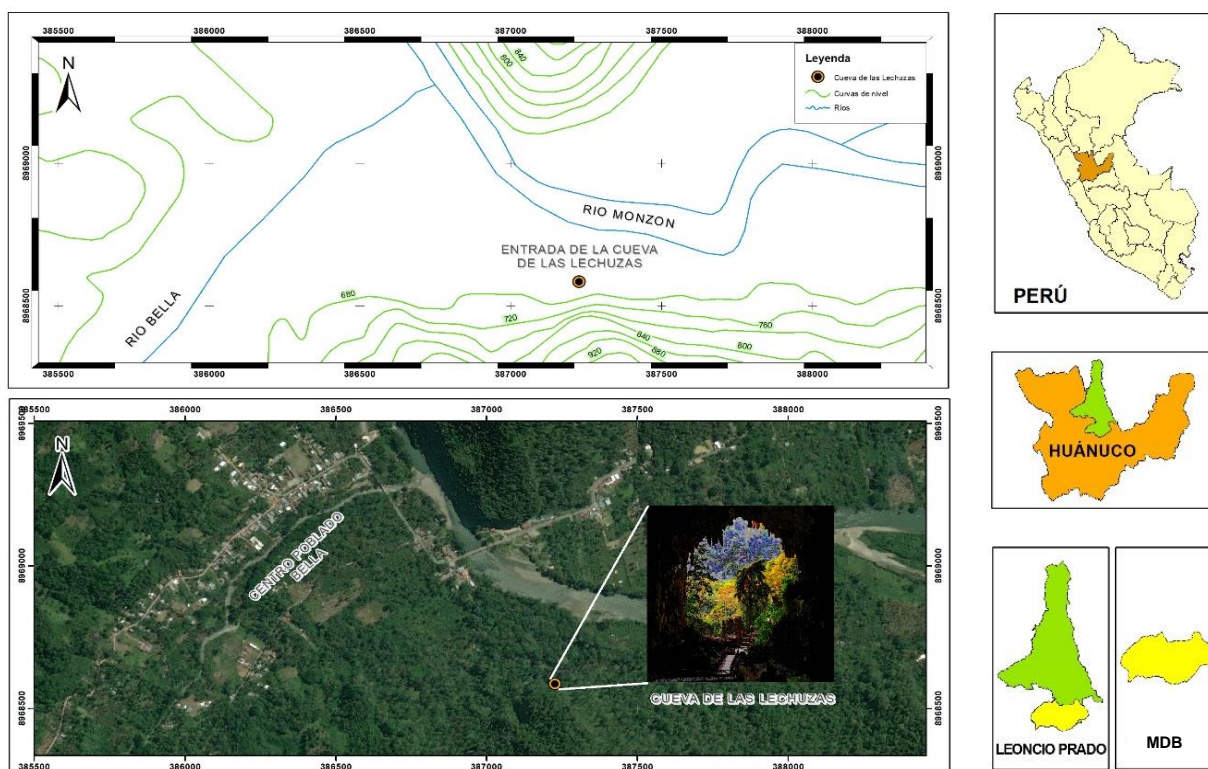


Figura 2. Ubicación geográfica de la Cueva de las Lechuzas – PNTM

3.2. Materiales y equipos

Los materiales y equipos utilizados para la ejecución la presente investigación se detalla a continuación, siendo que una parte de estos fueron comprados por mi persona, y otra parte donados y prestados por los laboratorios de la Universidad Nacional Agraria de la Selva: Laboratorio de Calidad del Aire y Laboratorio de Microbiología General. Todos los análisis

microbiológicos fueron llevados a cabo en el Laboratorio de Microbiología General que está bajo supervisión del Dr. Cesar Samuel López López.

3.2.1. Materiales de campo

Para la toma de muestras de campo, los materiales usados fueron los siguientes: guantes quirúrgicos, mascarillas KN95, guardapolvo, gorro, mechero, matraces con medios enriquecidos (BHI y Sabouraud), jeringas de 60mL, mechero de alcohol, tablero, hielera, lapicero, cuaderno de campo y trípode.

3.2.2. Materiales y reactivos de laboratorio

Los distintos materiales usados en el laboratorio fueron los siguientes: mascarillas KN95 y quirúrgicas, guantes quirúrgicos, algodón, pipeta, micropipeta, gorros, parafinas, asa de siembra, matraces de Erlenmeyer de 100mL y placas petri.

Los reactivos y medios que se usaron son: alcohol 96%, lejía, caldo BHI, caldo Sabouraud, agar Sabouraud, agar Plate Count.

3.2.3. Equipos de campo y laboratorio

Se utilizó un detector de gases portátil RKI GX-6000, laptop, microscopio electrónico, una autoclave, estufa, incubadora a temperatura ambiente, incubadora graduada, balanza gramera, GPS Garmin, cámara fotográfica y termohigrómetro.

3.3. Criterio y análisis de investigación

3.3.1. Tipo de investigación

Es de tipo básica, ya que no se ocupa de resolver ningún problema práctico de interés inmediato, se busca conocer los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del aire de la Cueva de las Lechuzas sin manipular variables, estos datos servirán para posibles investigaciones aplicadas futuras. (Arias et al. 2022)

3.3.2. Nivel de la investigación

La investigación es de nivel exploratorio y descriptivo, porque aunque tiene una hipótesis planteada que si hay presencia de gases, bacterias y fungi en el recorrido turístico de la Cueva de las Lechuzas, aún no se cuenta con datos concretos sobre la magnitud y la naturaleza exacta de la mayoría de los contaminantes presentes, a excepción de algunos de los parámetros microbiológicos (Hernández y Mendoza, 2018).

3.3.3. Variables

Variable Dependiente:

- Presencia de gases, bacterias y fungi

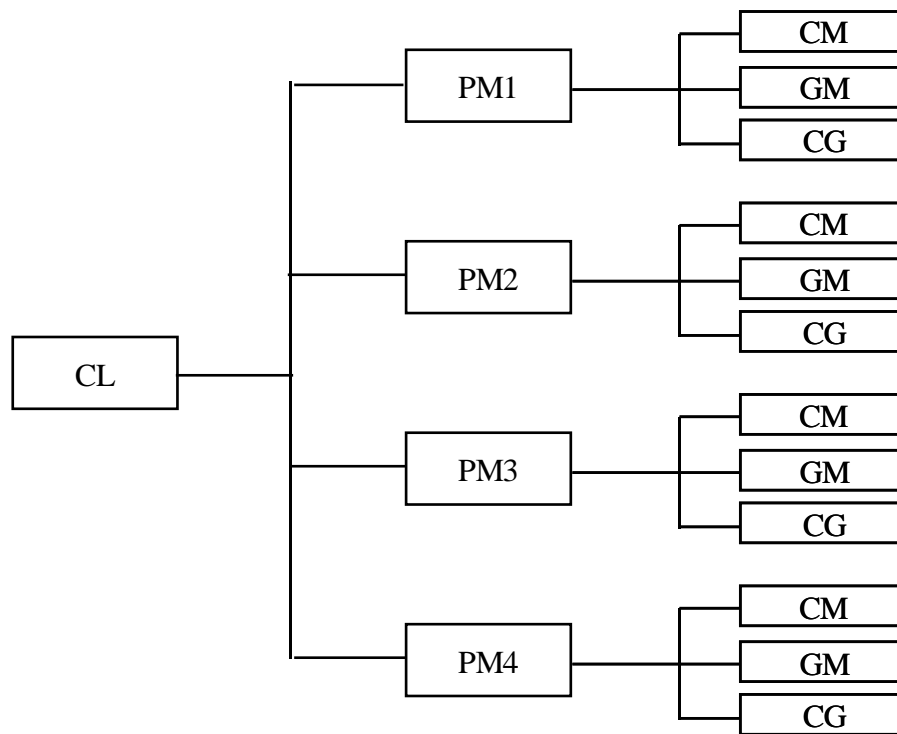
Variables independientes:

- Concentración de gases (O₂, CO y CO₂)

- Carga bacteriana
- Carga fúngica

3.3.4. Diseño de investigación

El diseño es no experimental (no se manipuló variables) y longitudinal, porque se tomaron datos en múltiples puntos en el tiempo. Se tienen 04 puntos de muestreo (PM1, PM2, PM3 y PM4), los cuales se muestrearon en un solo intervalo de horario en un día (12:00pm a 02:00pm), en 05 repeticiones (octubre, noviembre, diciembre).



[CL]: Cueva de las Lechuzas, [PM1, PM2, PM3 y PM4]: Puntos de muestreo, [CM]: Carga bacteriana, [GM]: Carga fúngica y [CG]: Concentración de gases

Figura 3. Diseño no experimental de esta investigación

3.4. Metodología

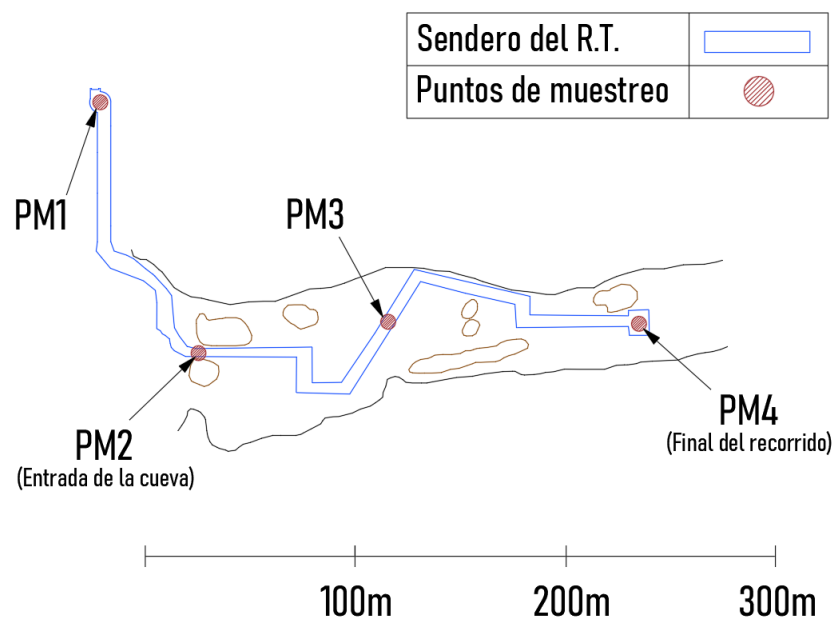
3.4.1. Determinación de los puntos de muestreo y frecuencia

Para seleccionar los puntos de muestreo de la presente de investigación, se consideró la utilización de modelos previos desarrollados por Aydoğdu & Şevik (2018), James (2010) y Sandoval (2023). Estos estudios tomaron muestras de gases (Aydoğdu & Şevik y James) del aire en al menos dos puntos frecuentes entre los autores: el punto de ingreso a las cuevas y el punto final, de igual modo Sandoval (2023) entre tomó datos desde la entrada de la Cueva de las Lechuzas, hasta el punto final del recorrido turístico de este. Siguiendo este enfoque, se seleccionaron tres puntos de muestreo en el interior de la Cueva de las Lechuzas: la entrada, la mitad y el punto final del acceso para las personas. Además, se incluyó un punto

de referencia, denominado testigo, ubicado donde comienzan las escaleras de subida que conducen a la cueva, que representó los valores normales de calidad del aire fuera del ambiente interno de la cueva siguiendo la metodología de puntos de toma de muestras utilizada por James (2010). Esta estrategia de los puntos de muestreo permitió comparar los niveles de contaminantes del interior de la cueva, con los valores de referencia en el exterior. Los cuatro puntos seleccionados se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 8. Puntos de muestreo de la calidad del aire del interior de la Cueva de las Lechuzas

Puntos de muestreo	Descripción	Coordenadas geográficas
PM1	Escaleras de acceso a la Cueva de las Lechuzas	387 217 E, 8 968 581 N
PM2	Entrada de la Cueva de las Lechuzas	387 227 E, 8 968 585 N
PM3	Mitad del recorrido turístico de la Cueva de las lechuzas	387 232 E, 8 968 591 N
PM4	Final del recorrido de la Cueva de las lechuzas	387 237 E, 8 968 598 N



[R.T.]: Recorrido turístico y [PM]: Puntos de muestreo en el recorrido turístico de la cueva

Figura 4. Esquema de los puntos de muestreo en el recorrido turístico de la Cueva de las Lechuzas

3.4.1.1. Frecuencia y horario de monitoreo

En este estudio, se realizó un total de 5 monitoreos (repeticiones) cada 18 días aproximadamente. El horario de muestreo fue desde las 12:00 AM hasta las 02:00 PM,

con una duración de 30 minutos en cada punto de muestreo. Durante este tiempo, se recolectaron las muestras para analizar los parámetros microbiológicos del aire y medir (in situ) las concentraciones de los gases.

3.4.2. Determinación de la concentración de los gases O₂, CO, y CO₂ del interior de la Cueva de las Lechuzas.

Para determinar la concentración de los gases O₂, CO y CO₂, se usó un detector de gases portátil (RKI GX-6000) por el método de “Bomba de succión de muestreo” siguiendo los siguientes pasos:

Preparación y calibrado de equipo: se revisó el estado del equipo y sus sensores antes del muestreo, así como el calibrado del equipo.

Localización de los puntos de monitoreo: se ubicó y estacionó en los 4 puntos de muestreo.

Medición de los gases: se midió las concentraciones de los gases comprobando siempre que la manguera muestreadora del equipo esté haciendo contacto directo con el aire, esto se hizo durante 15 minutos.

Registro de datos: los datos registrados por el equipo fueron anotados al cuaderno de campo, y después pasados digitalmente a una laptop.

Todas las concentraciones medidas han sido anotadas en el cuaderno de campo durante la frecuencia establecida en los meses: octubre, noviembre, y diciembre. Fue importante que el equipo utilizado esté certificado para su uso y se conozca sus rangos de medición y precisión, por ello en la siguiente Tabla 9. se detalla los gases para el monitoreo, los rangos de medida, la división de escala y la precisión del detector de gases portátil modelo RKI GX-6000 que se utilizó:

Tabla 9. Gases y rangos de detección

Gas	Rango de medida	División de escala	Precisión
Monóxido de carbono (CO)	0–500 ppm	1 ppm	± 5% o ± 5 ppm
Dióxido de carbono (CO ₂)	0–10 000 ppm	25 ppm	± 5% o ± 2% de fondo de escala
	0–5% Vol.	0,2%	
Oxígeno (O ₂)	0–40,0% Vol.	0,1% Vol.	0.5% O ₂

Fuente: RKI (2017).

Asimismo, para tener un entendimiento más claro de los factores ambientales de la Cueva de las Lechuzas, y como los gases están presentes en este, se midió la temperatura (°C) y humedad relativa (%HR) en cada punto de muestreo de gases.

3.4.2.1. Análisis estadístico

Para los análisis estadísticos de los valores obtenidos de las concentraciones de los gases, temperatura y humedad relativa, se empleó el análisis de varianza (ANOVA), porque según Hernández y Mendosa (2018) es el análisis estadístico adecuado para el tipo de datos que se manejó en el presente estudio, siendo los gases, temperatura y humedad relativa los parámetros a evaluar en 05 repeticiones, en 4 diferentes puntos de muestreo, a un nivel de confianza del 95%; este ANOVA solo se aplicó a los parámetros que presentaron varianzas aparentes en sus medias, los cuales fueron CO₂, temperatura y humedad relativa, de los cuales solo CO₂ presentó diferencias significativas entre los puntos muestreados. Posteriormente se aplicó las pruebas post hoc de tukey al gas CO₂, ya que fue el único parámetro que se encontró diferencias significativas entre los diferentes puntos de muestreo.

3.4.2.2. Comparación con los estándares para gases

En lo que concierne a la comparación con los estándares de gases, se empleó el método comparativo, evaluando si los límites establecidos exceden o no específicamente para los gases de CO y CO₂, y por el contrario, comparar el O₂ con el umbral mínimo normativo para este gas.

Los niveles de CO se compararon con las Directrices sobre calidad del aire de la OMS (2021), las mismas que se detallan en la Tabla 7, en la que indica que los valores de CO para exposiciones cortas de 15 minutos no deben exceder nunca el límite de 100 mg/m³.

En relación con los valores de CO₂, se procedió a compararlos con el reglamento legal aún en vigor, el D.S. N° 015-2005-SA (MINSA, 2005), que establece límites para exposiciones cortas al CO₂, los cuales se detallan en la Tabla 6.

En cuanto a las concentraciones de oxígeno, se comparó con el mínimo porcentaje de oxígeno de 19,5% que debe tener este gas conforme al artículo 69 del MITECO (1985) para que un ambiente sea considerado seguro para los trabajadores mineros en su salud personal.

3.4.3. Determinación de carga bacteriana y fúngica del aire interior de la Cueva de las Lechuzas

Para la determinación de la carga de las bacterias y fungi presentes en el aire de los cuatro puntos de muestreo en un periodo de 5 repeticiones se utilizó el método de Enumeración de Colonias del Protocolo de prácticas en Microbiología General de López

(2015), el cual consta de tres etapas: preparación de medios de cultivo para el muestreo, muestreo de aire y enumeración de colonias.

a) Preparación de los medios de cultivo para el muestreo

Para el muestreo de bacterias, se utilizaron 03 matraces a los cuales se les agregó 100mL de agua destilada y 3,7g de BHI en estado granulada. Después de homogenizar mediante movimientos circulares, se taponearon con algodón y se envolvieron con hilo pabilo. Estos matraces fueron sometidos a la autoclave a una presión de 15 PSI. El mismo procedimiento se repitió para el muestreo de hongos, utilizando 100mL de agua destilada y 3g de Sabouraud en cada matraz, y se agregó el antibiótico ceftriaxona antes del muestreo.

b) Muestreo de aire

Este muestreo microbiológico del aire se realizó por el método volumétrico, tomándose 18 a 20 aspiraciones de aire en cada punto de muestreo mediante una jeringa esterilizada (por punto de muestreo) de 60 mL. El contenido de cada aspiración se vertió en dos matraces, uno con caldo BHI para bacterias y el otro para hongos con caldo Sabouraud. Estos matraces fueron tapados con algodón para cerrar el matraz, luego papel Kraft para asegurar este sello, después luego envueltos con hilo pabilo y guardados en una caja herméticamente aislada hasta su traslado al laboratorio.

c) Enumeración de colonias

Para la enumeración de colonias de bacterias, se preparó un medio con 6,75 g de agar Plate Count y 300mL de agua, el cual se sometió a baño maría hasta su ebullición. Luego se utilizó el método de recuento en placa, tomando 0,1 μ l de la muestra de los matraces con BHI y sembrándolo en una placa Petri previamente esterilizada. A continuación se añadieron 10mL de agar Plate Count y se realizaron movimientos circulares para su homogenización. Estas placas se incubaron a 37 °C por 48 horas.

Para la enumeración de colonias de hongos, se preparó un medio con 19,5g de agar Sabouraud Dextrosa y con 300mL de agua, el cual se calentó en baño maría hasta su punto de ebullición. Luego, se empleó el método de recuento en placa, tomando 0,1 μ l de muestra de cada matraz con caldo Sabouraud y sembrándolo en placas Petri por cada punto de muestreo. Después se añadieron 10 mL de caldo Sabouraud 4% y se realizaron movimientos para su homogenización. Las placas se cubrieron con parafina y se incubaron a temperatura ambiente por 5 días.

Finalmente, se procedió al conteo de colonias tanto para bacterias como para hongos, utilizando la fórmula:

$$N^{\circ} \text{ de UFC/m}^3 \text{ de aire} = N^{\circ} \text{ de colonias} \times \text{Factor K} \dots(1)$$

Donde:

N° de colonias : Número de colonias contabilizadas

Factor K : Es K= 80, empleando el diámetro de la placa Petri de 9 cm.

3.4.3.1. Análisis estadístico para la carga bacteriana y fúngica

Para el análisis estadístico de los valores obtenidos de la carga microbiológica de bacterias y hongos, se utilizó el análisis de varianza (ANOVA), ya que según Hernández y Mendosa (2018) es el análisis adecuado para este tipo de datos que se manejaron en el presente estudio, siendo la UFC/m³ de bacterias y hongos los parámetros a evaluar en 05 repeticiones, en 4 diferentes puntos de muestreo, a un nivel de confianza del 95%. Posteriormente se aplicó las pruebas post hoc de tukey tanto a la carga bacteriana, como a la fúngica, ya que hubo diferencias significativas entre los puntos de muestreo.

3.4.3.2. Comparación con el estándar para la carga bacteriana y fúngica

Se realizó una comparación de las concentraciones de UFC obtenidos de bacterias y fungi de la cueva, con los niveles dados por la European Collaborative Action (1993), de contaminación del aire, la cual califica los niveles de contaminación aérea catalogándolos desde "Muy baja" hasta "Muy alta, según sea la concentración de UFC/m³ obtenida, tal como se aprecia en las tablas 4 y 5.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Determinación de las concentraciones de los gases O₂, CO, y CO₂ del interior de la Cueva de las Lechuzas.

En la Tabla 10, se muestran las concentraciones promedio de gases y parámetros ambientales (CO, O₂, CO₂, temperatura y humedad relativa) obtenidas en los cuatro puntos de muestreo. A partir de los datos, se observa que el CO presenta concentraciones nulas en todos los puntos, lo cual es un resultado favorable en lo que respecta a este contaminante. Sin embargo, los valores de CO₂ muestran grandes diferencias entre los puntos, siendo el valor más alto registrado en el punto PM4 (358,7 ppm). En lo que respecta a los valores obtenidos de las concentraciones de CO₂, se observa una gran variabilidad, ya que el coeficiente de variación varía desde los 36,7 hasta los 45,7 en el caso de CO₂, por otro lado se observa un comportamiento distinto para los factores ambientales, ya que nunca superaron la barrera de los 8.1 de coeficiente de variación.

Tabla 10. Concentraciones promedio de gases y factores ambientales

Puntos de muestreo	CO (ppm)	O ₂ (ppm)	CO ₂ (ppm)	CV	T° (°C)	CV	HR (%)	CV
PM1	0	20,8	82,5	36,7	28.2	6,4	70,8	8,1
PM2	0	20,9	193,8	45,7	27.6	4,9	69,8	6,3
PM3	0	20,9	274,7	45,0	27.1	4,4	73,4	3,8
PM4	0	20,9	358,7	40,2	26.8	4,1	75,6	3,4

La Figura 5, nos muestra como varían las concentraciones de CO₂, O₂, la temperatura y la humedad relativa en diferentes puntos de la Cueva de las Lechuzas. En cambio, el CO₂ aumenta progresivamente desde 82,5 ppm en PM1 hasta 358,7 ppm en PM4, tal como se aprecia en la figura. Los niveles de oxígeno son estables, con ligeras variaciones entre 20,8% y 20,9% (Figura 6), mostrando una estabilidad de este gas vital en todo el recorrido turístico de la cueva. Por otro lado, la temperatura disminuye gradualmente de 28,2°C a 26,8°C a medida que se avanza hacia el interior, mientras que la humedad relativa aumenta de 69,8% a 75,6%, creando un ambiente más fresco y húmedo en las zonas más profundas. Estos patrones reflejan un equilibrio ambiental influenciado por la ventilación natural y las características geológicas de la cueva.

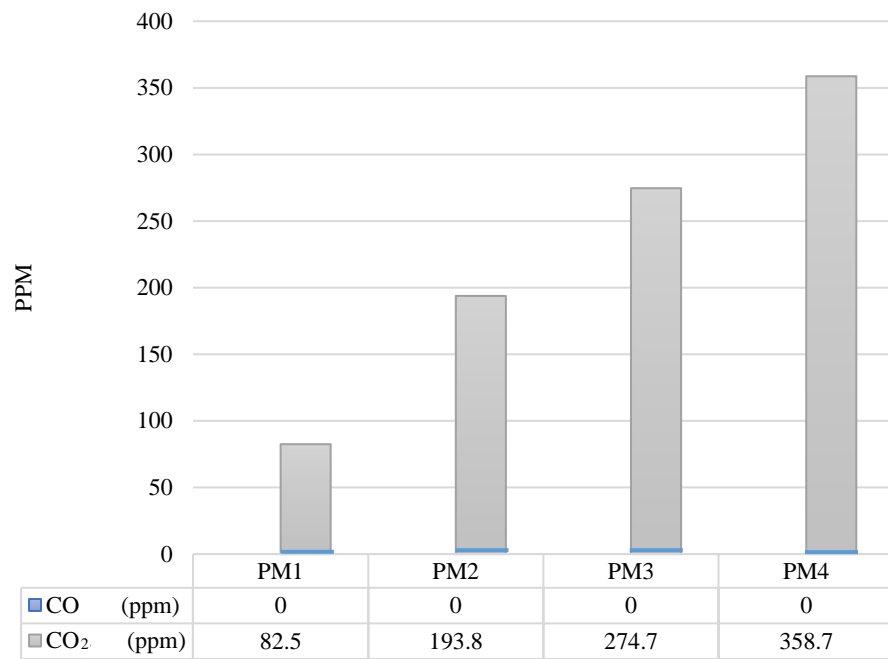


Figura 5. Valores medios CO y CO₂ en partes por millón (ppm)

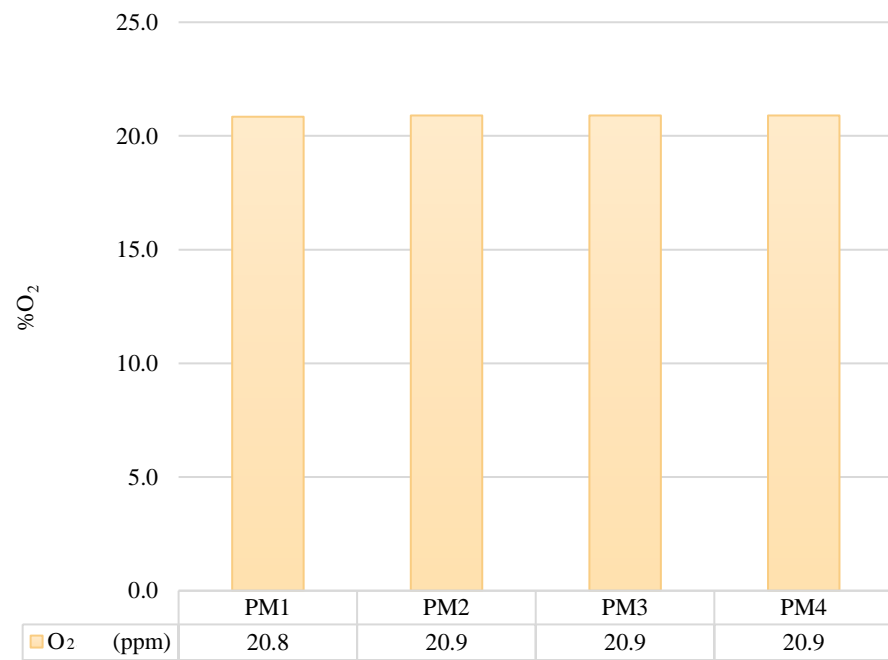


Figura 6. Valores medios de O₂ en porcentaje (%)

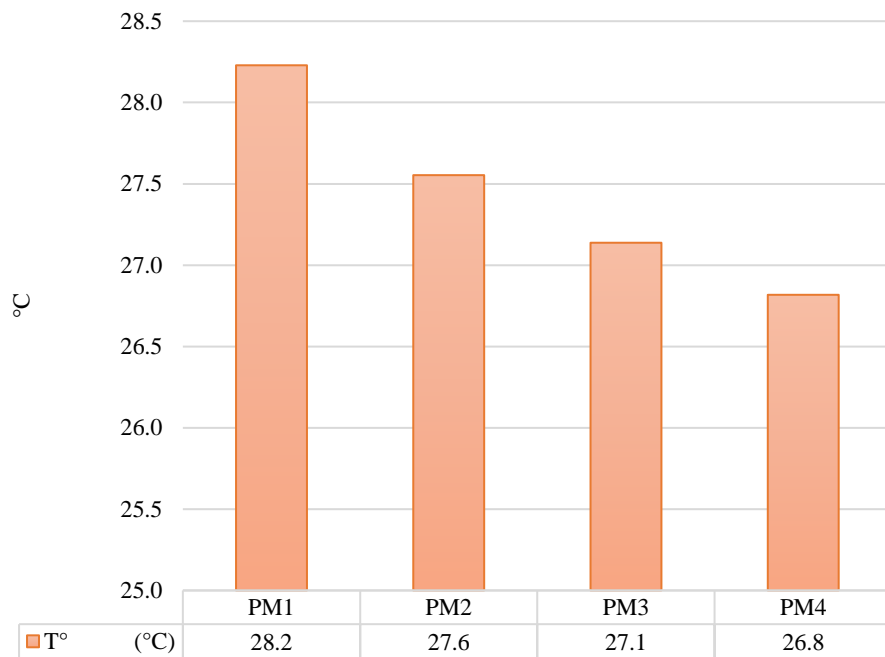


Figura 7. Valores medios temperatura en °C

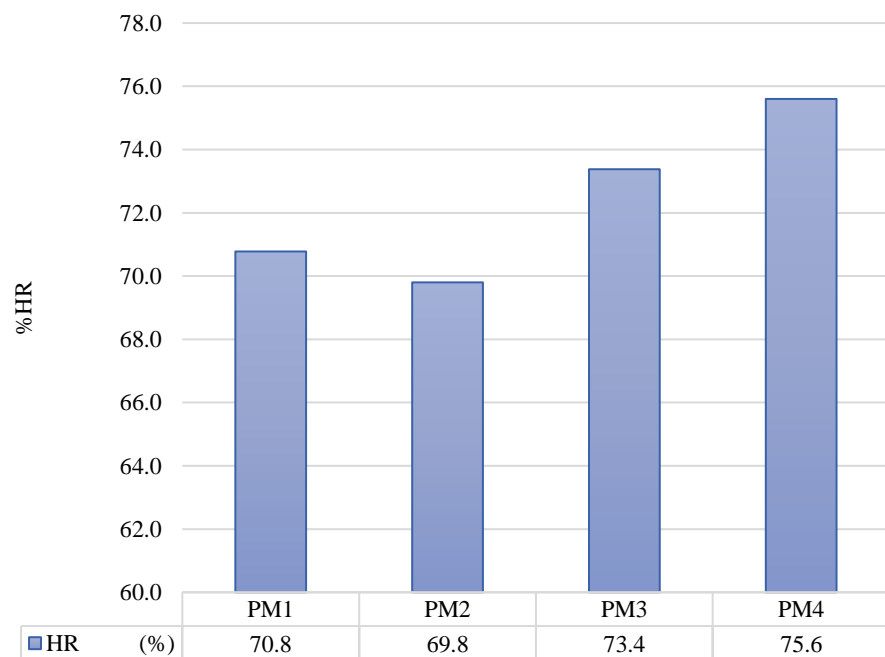


Figura 8. Valores medios humedad relativa en porcentaje (%HR)

Es apreciable a simple vista en la Figura 5 y Figura 6, la tendencia del CO₂ a aumentar sus concentraciones a medida que se ingresa en el interior de la cueva, pudiendo deberse a una mala ventilación o por ser espacios confinados, no ocurriendo así con los niveles de O₂, ya que se sabe el CO₂ en niveles elevados desplaza al O₂ y disminuye su concentración, y esto es

explicable, ya que, en el estudio de Stenner et al. (2022) en la Tabla 1, se aprecia como los niveles de oxígeno no disminuyen incluso a concentraciones de 3,000 ppm de CO₂; teniendo sentido así porque los niveles de O₂ se mantuvieron constantes en todo el estudio ya que las concentraciones promedio de CO₂ no superaron los 358.7ppm.

Fernández y Rengifo (2022), en su investigación para mejorar los sistemas de ventilación de una mina, evaluaron el comportamiento de los gases CO y O₂ a diferentes profundidades desde la bocamina, y se vio en el oxígeno, que este empezó a disminuir a tan solo 100 metros de profundidad, contando ya en ese punto con una media de 20,1%, y bajando hasta los 16.6% a una profundidad de 380 metros, muy distinto a lo que pasa en la Cueva de las Lechuzas, que no hay variación hasta los 240 metros en las mediciones hechas desde la entrada de la cueva, pudiendo deberse a factores como la forma y tamaño de los ingresos a estos pasajes subterráneos. Por otro lado también Fernández y Rengifo evaluaron el comportamiento de gas contaminante CO en paralelo al O₂, y a diferencia de este último, no se vio una tendencia clara a variar las medias con respecto a la bocamina, siendo en este aspecto similar a los datos recogidos en la investigación presente, ya que el CO no varió en ningún momento, siendo incluso ausente en la cueva.

Pérez et al. (2016) encontraron una correlación positiva entre los niveles de CO₂ y la actividad sísmica cercanas a cuevas profundas, en el que dependiendo de la intensidad y cercanía de sismos a las cuevas, estas hacen incrementar las concentraciones de este gas en hasta 300ppm, debido al sistema de cuevas carbonatadas y como estas rocas reaccionan a los sismos, en la segunda repetición de los muestreos de la investigación presente en la Cueva de las Lechuzas se observa que los valores de CO₂ fueron más elevados en promedio en todos los puntos con respecto al resto de repeticiones (ver Tabla 19), este aumento de la concentración del CO₂ podría deberse a diversos factores como microsismos habidos previos al día de muestreo de esa repetición, tal como Pérez et al., menciona en su estudio.

Según el estudio de Aydoğdu y Şevik (2018), los niveles de temperatura disminuyen a medida que se adentra en una cueva, aunque en su caso fue de más de 7°C de diferencia entre la entrada y el punto más profundo, tendencia semejante a la presente investigación (ver la Tabla 10 y la Figura 7), en el que la temperatura desde el testigo de 28.2 °C, disminuyó hasta el punto más profundo del recorrido turístico de la cueva, que tuvo una medida de 26,8 °C, una ligera pero clara disminución de temperatura, no ocurriendo así con los resultados obtenidos por Sandoval (2023), que realizó monitoreos en la misma Cueva de las Lechuzas, pero obtuvo el resultado contrario, viendo que las temperaturas aumentaban desde la entrada de cueva (PM2 en esta investigación), hasta el final del tramo turístico (PM4 en esta investigación), esto puede

deberse a la hora de toma de datos, y como la dinámica poblacional tanto de las aves, insectos y guano, así como por ser un espacio confinado esta cueva, tengan una capacidad de generar y conservar calor en los horarios nocturnos. Asimismo, esta tendencia de aumentar la temperatura a medida que se ingresa a las profundidades de un sistema subterráneo se plasma en la investigación de Fernández y Rengifo (2022), en el que la temperatura aumento en casi 4 °C, desde la bocamina hasta la parte más profunda (380 metros de profundidad) de la mina subterránea que evaluó, contrastando con los datos recogidos en la Tabla 10., y visualizados en la Figura 7.

Donde sí coincidió los factores ambientales de esta investigación con los autores Aydoğdu y Şevik (2018), Sandoval (2023), es en el aumento de la humedad relativa a medida que se ingresa a las partes más profundas de la cueva, centrándonos en la comparación con Sandoval (2023), mientras que él obtuvo una variación de más de 8%HR desde la entrada de la Cueva de las Lechuzas, hasta el final del recorrido turístico (unos 240 metros de profundidad), en la presente investigación se obtuvo una variación de casi el 5%HR en ese mismo recorrido, de esos dos puntos de muestreo, tal cual se aprecian en la Tabla 10. y la Figura 8, de igual modo que los resultados obtenidos por Fernández y Rengifo (2022), en los que la humedad relativa aumentó desde la bocamina hasta 380 metros de profundidad de este.

4.1.1. Análisis estadístico

Todos los parámetros fisicoquímicos (gases, temperatura y humedad relativa) fueron sometidos a un ANOVA, y en todos estos no existieron diferencias estadísticamente significativas entre los puntos de muestreo, a excepción del CO₂, por ello la Tabla 11. muestra un valor de significancia (p-valor) de 0,005 en el análisis ANOVA para las concentraciones de CO₂. Este valor indica que las diferencias observadas en las concentraciones de CO₂ entre los puntos de muestreo son estadísticamente muy significativas, ya que el p-valor es mucho menor que el umbral de 0,05.

Tabla 11. ANOVA para las concentraciones de CO₂ por punto de muestreo

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	<i>p-valor</i>
Entre grupos	207 980,754	3	69 326,918	6,196	0,005
Dentro de grupos	179 014,924	16	11 188,433		
Total	386 995,678	19			

Las diferencias significativas obtenidas en la Tabla 11. entre los puntos de muestreo con la prueba ANOVA, se aprecian desde los resultados, ya existe una diferencia clara de los valores de CO₂ desde el punto testigo y entrada, a la parte más profunda del recorrido en

la Cueva de las Lechuzas, esto coincide (aunque no se realizó esa prueba estadística) de manera más clara en el estudio realizados por Stenner et al (2022), donde las concentraciones de CO₂ aumentan drásticamente desde 2 500ppm a 15 300ppm en el Cráter oeste desde la entrada hasta la zona más profunda, y de valores menores a 3 000ppm hasta 10 500ppm en el Cráter oeste, y el estudio realizado por Aydoğdu y Şevik (2018) se aprecia que pudiera haber diferencias muy significativas en los valores promedios de este gas, ya que estos valores aumentan desde los 427ppm en la entrada de la Cueva Mantar, hasta los 1 250ppm a los 60 metros de recorrido en el interior.

La Tabla 12. presenta los resultados de la prueba tukey para determinar estadísticamente la interacción de los valores de CO₂ entre los puntos de muestreados:

- La diferencia de medias entre PM1 y PM3 es de 192,17 ppm con un y el p-valor de 0,0489 indica que esta diferencia es estadísticamente significativa a un nivel de confianza del 95%. Esto expresa que los niveles de CO₂ en PM3 son significativamente más altos que en PM1.
- La diferencia de medias entre PM1 y PM4 es aún mayor, de 276,17 ppm, y un p-valor de 0,0039, lo que demuestra que la concentración de CO₂ en PM4, la parte más profunda del recorrido de la cueva es significativamente más alta que en PM1, el testigo.

Esta prueba de Tukey nos indica que, aunque no todas las comparaciones entre puntos son significativas, sí hay una variación y aumento en las concentraciones de CO₂ entre los puntos dentro de la cueva (PM3 y PM4) y el testigo (PM1) que se demostró estadísticamente.

Tabla 12. Prueba tukey entre los puntos de muestreo para CO₂

Punto de muestreo (1)	Punto de muestreo (2)	Diferencia de medias	Intervalo de confianza	<i>p-valor</i>
PM1	PM3	-192,17	0,77 – 373,57	0,0489
	PM4	-276,17	84,77 – 467,57	0,0039

Los resultados obtenidos en la prueba post hoc de Tukey para el gas CO₂, muestran la existencia de diferencias estadísticamente significativa entre los valores de los puntos más profundos muestreados en la cueva, y el testigo, habiendo una diferencia de medias de PM3 con PM1 de 192,17ppmCO₂ y de PM4 con PM3 de 276,17ppmCO₂, y ambos con niveles de significancia inferiores al umbral de 0,05, que, aunque no se realizó esta misma prueba, afianza los resultados obtenidos por Aydoğdu y Şevik (2018), en los que las diferencia de medias evaluadas desde la entrada, hasta el punto más profundo de la cueva de Ilgarini fue

de 73ppmCO₂, mientras que fue de 823ppm CO₂ lo que respecta a la cueva Mantar, existan diferencias estadísticamente significativas en las concentraciones de estos gases desde la entrada de la cueva, a la parte más profunda.

4.1.2. Comparación con los estándares para gases

La Figura 9 presenta una comparación de las concentraciones obtenidas de CO en los diferentes puntos de muestreo con el límite establecido por la OMS para exposiciones de 15 minutos tal cual se hizo las mediciones en esta investigación. Los resultados señalan que los valores de CO en todos los puntos de muestreo (PM1 a PM4) son de 0 ppm (igual a 0 mg/m³ en su equivalencia), muy por debajo del límite de 100 mg/m³ establecido por la OMS para este gas. Esto sugiere que no existe un riesgo por exposición a CO en la cueva, ya que al no haber presencia de este gas, cumple con la normativa al estar por debajo del umbral de peligro para la salud humana dictadas por la OMS.

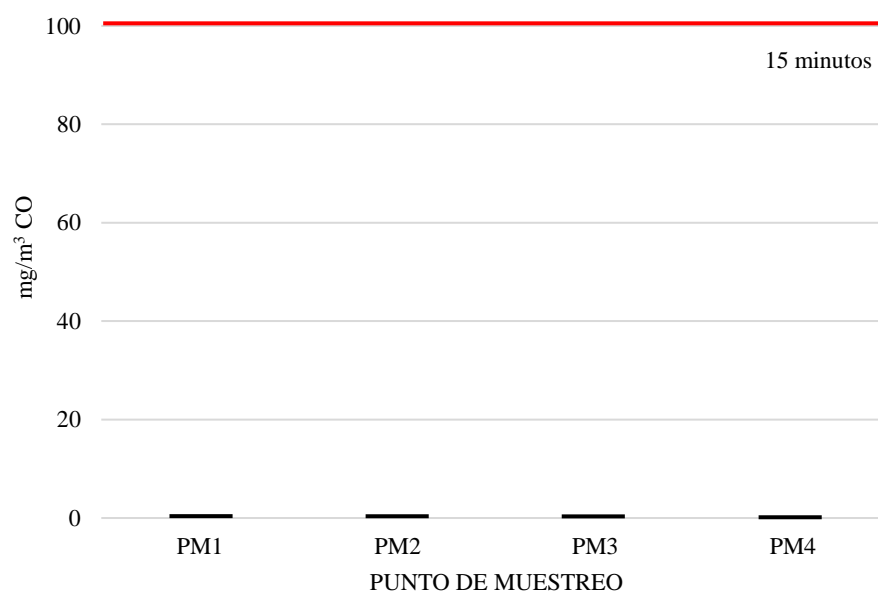


Figura 9. Comparación con el límite de la OMS para CO

En la Figura 10. se visualiza la comparación de las concentraciones de CO₂ en los puntos de muestreados PM1 a PM4 con los límites establecidos por el MINSA, estos valores observados de CO₂ que, aunque van en aumento desde 82,5 ppm en PM1 hasta 358,7 ppm en PM4, no sobrepasan los límites de exposición de corta duración (STEL) que son de 30 000 ppm y valores promedio aritmético (TWA) de 5 000 ppm establecidos por el MINSA.

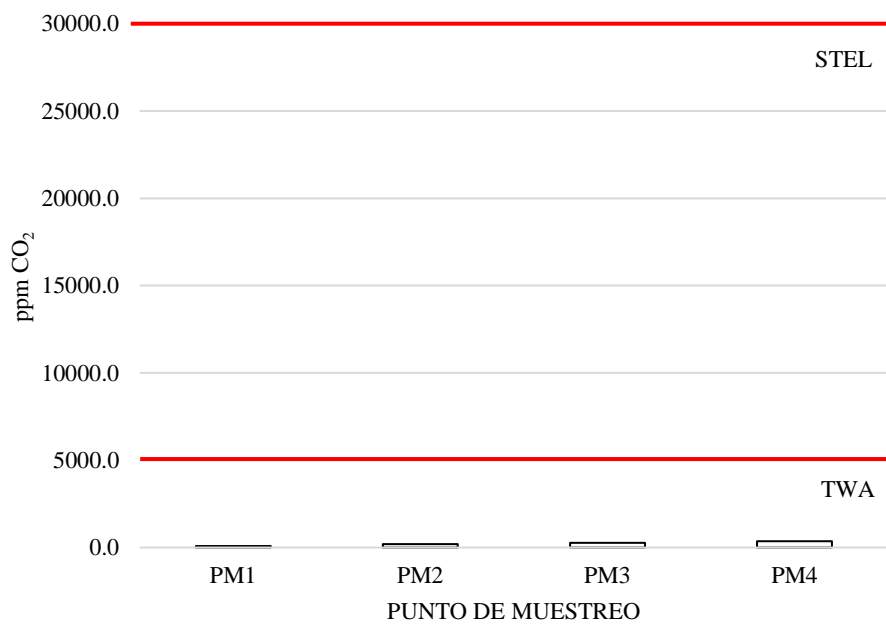


Figura 10. Comparación con los límites del MINSA para CO₂

Aunque los resultados no estuvieron cerca de pasar los valores límites de CO₂ establecidos por el MINSA tanto para exposiciones cortas y largas, como se observa claramente en la Figura 10., estos resultados coinciden con los resultados obtenidos por Aydoğdu y Şevik (2018), que en su punto más profundo de uno de las cuevas, esta no supero los 1 250ppmCO₂, a una profundidad de 180 metros, similar a los 240 metros de profundidad de muestreada en la Cueva de las Lechuzas, cumpliendo así también el estudio de estos autores con las normativas del MINSA, pero no ocurre lo mismo con los resultados que obtuvieron Stenner et al. (2022), ya que, aparte de haber medido las concentraciones de este gas en otro tipo de cuevas (cuevas glaciovolcánicas), y haber sido en una altitud más elevada sobre el nivel del mar a la del presente estudio, midieron también a lo largo de kilómetros por estos pasajes cavernosos, y ahí si las concentraciones de CO₂ llegaron a pasar los límites del MINSA para larga exposición (TWA) de 5 000ppmCO₂, pero no superaron los límites para corta exposición de 30000ppmCO₂, ya que el valor más alto obtenido por estos investigadores fue de 25 800ppm de CO₂.

En la Figura 11. Se compara los niveles de O₂ en los puntos de muestreo PM1 a PM4 con el umbral mínimo establecido por el MITECO (1985), que es del 19,5%. Las concentraciones obtenidas de O₂ en los puntos de muestreo varían ligeramente entre 20,8% y 20,9%, lo que indica que en todos los puntos de muestreo el nivel de oxígeno está por encima del umbral mínimo de seguridad establecido en esa normativa.

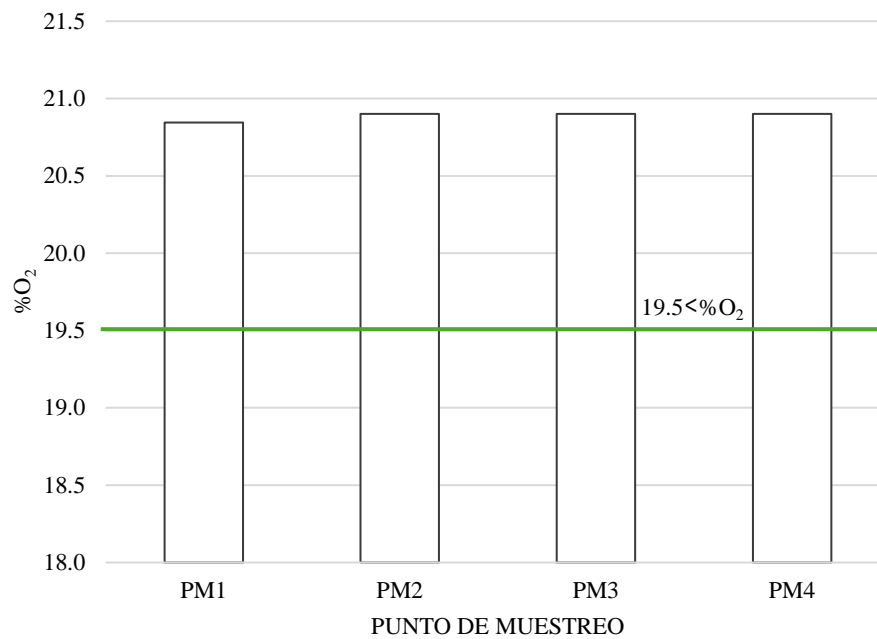


Figura 11. Comparación con el umbral mínimo de la MITECO para O₂

Según los resultados de Stenner et al. (2022), los valores de oxígeno no varían mucho y no disminuyen de 19,5% O₂, en la mayoría de sus muestreos, solo bajaron de este umbral en 03 puntos de muestreo clave, en los que las concentraciones de CO₂ fueron demasiado elevadas, viéndose así concentraciones de O₂ en el aire desde 16% hasta los 18,9% en estos casos, contrastando grandemente con los valores obtenidos por el presente estudio, los valores de O₂ se mantuvieron estables en todos los muestreos, ya que nunca los valores de CO₂ fueron tan elevados como el estudio de Stenner et al. (2022).

Fernández y Rengifo (2022), también evaluaron el oxígeno atmosférico, pero en sistema subterráneo de minas, en los cuales el O₂ no bajó del umbral de 19,5% O₂, hasta llegar a los 300 metros de profundidad en la mina, en la que los niveles de O₂ bajaron hasta unos peligrosos 17,77%, la profundidad que evaluaron Fernández y Rengifo O₂ más parecido a la del PM4 (240 metros de profundidad en la cueva) de este estudio, fue de 200 metros de profundidad, y obtuvieron una media de 19,90% de concentración de este gas, contrastando mucho los resultados, pudiendo deberse a diversos factores ambientales, geológicos u otros.

4.2. Determinación de la carga bacteriana del aire del recorrido turístico de la Cueva de las Lechuzas

La Tabla 13 presenta la carga bacteriana promedio en los diferentes puntos de muestreo, medida en UFC/m³, estos resultados indican que PM4 presenta la carga bacteriana más alta con diferencia como se aclara en la Figura 12., con un valor de 13,488 UFC/m³, seguido

por PM2 con 4,640 UFC/m³, PM1 con 2,880 UFC/m³, y PM3 con 2,544 UFC/m³. También se aprecie que en PM4 la variabilidad es más elevada que en el resto de los puntos muestreados, ya que tiene un coeficiente de variación de 59, mientras que el que menor variabilidad presenta es el PM3.

Tabla 13. Carga bacteriana promedio en cada punto de muestreo

Puntos de muestreo	UFC/m ³	CV
PM1	2880	55
PM2	4640	50
PM3	2544	40
PM4	13488	59

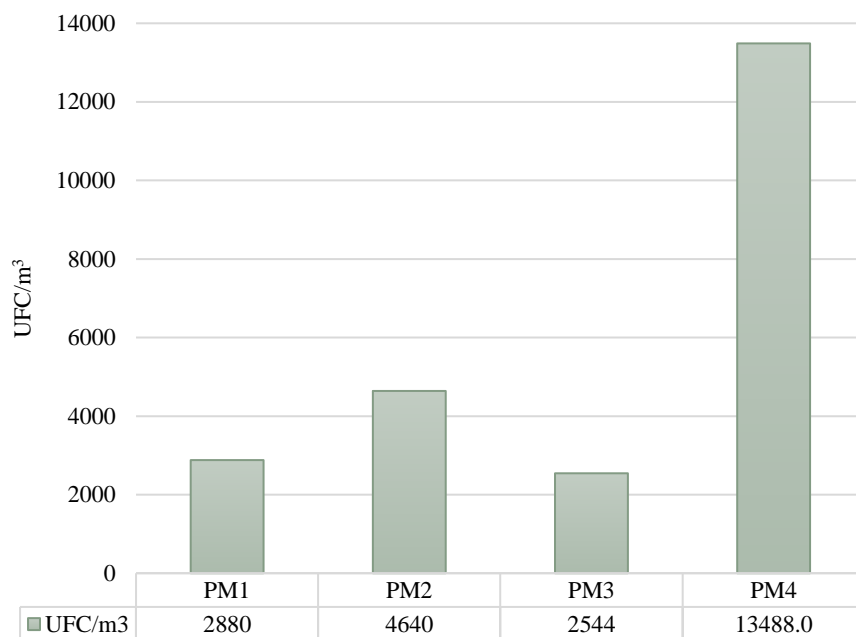


Figura 12. Carga bacteriana promedio

Como se aprecia tanto en la Tabla 13 y Figura 12., con las cargas bacterianas promedio en los puntos de muestreo, estos valores fueron elevados en contraste con la investigación de Ogórek et al. (2018), que obtuvieron cargas microbianas de $232 \pm 28,3$ hasta los $1\ 189 \pm 124,7$ de UFC/m³, pudiendo ser estas diferencias por el lugar confinado, ya que su investigación fue en una serie de pasajes subterráneos denominados “Reserva de Murciélagos de Nietoperek” en Polonia, y debido a factores ambientales y bióticos, como la cantidad de guano presentes en cuevas de guácharos, no presentaron valores similares a los obtenidos en el presente estudio. Por otro lado, Hidalgo (2023) realizó una investigación microbiología en un criadero de cerdos en la misma provincia de la Cueva de las Lechuzas, y obtuvo resultados muy por encima de los obtenidos en el presente estudio, ya que sus valores de carga bacteriana fueron de 200 000 UFC/m³, en su punto más contaminado.

4.2.1. Análisis estadístico

La Tabla 14. presenta los resultados del ANOVA para la carga bacteriana por punto de muestreo. El análisis muestra que el un p-valor es de 0,003, lo que determina que existen diferencias estadísticamente muy significativas en la carga bacteriana entre los puntos de muestreo.

Tabla 14. ANOVA para la carga bacteriana por punto de muestreo

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	<i>p-valor</i>
Entre grupos	397 739 520	3	132 579 840	7,230	0,003
Dentro de grupos	293 388 800	16	18 336 800		
Total	691 128 320	19			

La Tabla 15 presenta los resultados de la prueba Tukey para la carga bacteriana entre los diferentes puntos de muestreados, estos muestran que existen diferencias significativas en la carga bacteriana entre PM1 y PM4, con una diferencia de 10 608 UFC/m³, lo que manifiesta claramente que PM4 tiene una carga bacteriana considerablemente mayor que PM1 (testigo). De manera similar, también hay diferencias significativas entre PM2 y PM4, con una diferencia de 8 848 UFC/m³, y entre PM3 y PM4, con una diferencia de 10 944 UFC/m³. Estos resultados reflejan que la carga bacteriana en PM4 es significativamente más alta en comparación con los otros puntos de muestreo, evidenciando así una mayor concentración de bacterias en ese punto.

Tabla 15. Prueba Tukey entre los puntos de muestreo para la carga bacteriana

Punto de muestreo (1)	Punto de muestreo (2)	Diferencia de medias	Intervalo de confianza	<i>p-valor</i>
PM4	PM1	10 608	2 857,6 – 18 356,4	0,006
	PM2	8 848	1 099,6 – 16 596,4	0,023
	PM3	10 944	3 195,6 – 18 692,4	0,005

Los resultados obtenidos por las pruebas estadísticas para carga bacterianas, plasmadas en las tablas 15 y 16, nos muestran que si existieron diferencias muy significativas en las concentraciones de carga entre los puntos de muestreo, destacándose el punto más profundo con respecto al resto, ya que en la prueba post hoc de Tukey se ve como está muy por encima de estos valores, siendo más de 4 veces mayor la concentración en el punto más profundo PM4, y el punto y el testigo PM1, y esto concuerda con los valores obtenidos por Ogórek et al. (2020), que aunque no realizó pruebas estadísticas, si se vio un incremento súbito

desde un testigo exterior (20 UFC/m³), hasta uno de los puntos más profundos de la cueva con 1189 UFC/m³.

4.2.2. Comparación con el estándar para carga bacteriana en el aire

La Figura 13. nos muestra los niveles de contaminación de la carga bacteriana en los puntos de muestreados de la Cueva de las Lechuzas de acuerdo con los estándares de la ECA, y se observa que en todos y cada uno de los puntos de muestreo, las cargas bacterianas son clasificadas como nivel de contaminación “Muy Alta” al superar la barrera de los 2 000 UFC/m³, destacándose por sobre todo el PM4, ya que presenta un nivel de contaminación muy alto, con una carga bacteriana de 13 488 UFC/m³, pero aunque no tenga el mismo valor elevado, el testigo (PM1) que se encuentra a las afueras de la cueva, también presentó niveles de contaminación como ya se mencionó previamente, clasificados como “Muy Alta”, al tener una concentración de 2880 UFC/m³ de bacterias presentes en el aire.

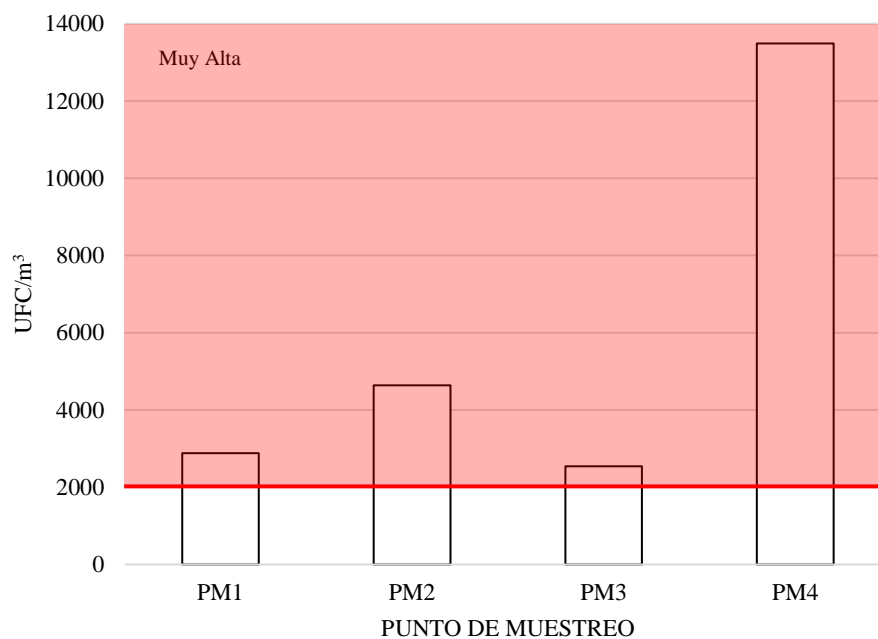


Figura 13. Niveles de contaminación según la ECA para la carga bacteriana

Ogórek et al. (2020), aunque no comparó con los estándares de la ECA, en su estudio sobre las bacterias aéreas presentes en los sitios de hibernación de los murciélagos de la reserva de Nietoperek, Polonia, obtuve valores inferiores al los del presente estudio, viéndose así que los niveles de contaminación en la Cueva de las Lechuzas, son mas del doble que los obtenidos por Ogórek et al. (2020), pudiendo deberse a los ambientes y clima diferentes de estudios de ambos lugares, ya que aunque la Cueva de las Lechuzas presenta igual murciélagos que el sitio de hibernación de Nietoperek, a parte la cueva presenta especies como

guacharos y loros que aportan una mayor carga orgánica de guano al suelo que la podrían estar aportando solo los murciélagos, como en el caso del sitio de hibernación estudiado por Ogorek et al (2020).

4.3. Determinación de la carga fúngica del aire del recorrido turístico de la Cueva de las Lechuzas

La Tabla 16 y la Figura 14 presentan la carga fúngica promedio por punto de muestreo y los coeficientes de variación de cada uno de estos. Los valores de carga fúngica varían entre 224 UFC/m³ en PM2 y 560 UFC/m³ en PM3, mientras que PM1 y PM4 registran 256 UFC/m³. El CV también refleja la variabilidad en los datos, con PM3 presentando el CV más bajo (14,3%), lo que indica una menor dispersión en las mediciones, en contraste, PM2 tiene el CV más alto (73,2%), lo que sugiere una mayor dispersión de los datos en este punto de muestreo. Por como se aprecia, en PM3 se tiene tanto la mayor carga fúngica como la menor variabilidad en sus mediciones, siendo lo opuesto a PM2, que tiene la menor carga fúngica, pero la mayor variabilidad.

Tabla 16. Carga fúngica promedio por cada punto de muestreo

Punto de muestreo	UFC/m ³	CV
PM1	256	46,4
PM2	224	73,2
PM3	560	14,3
PM4	256	40,7

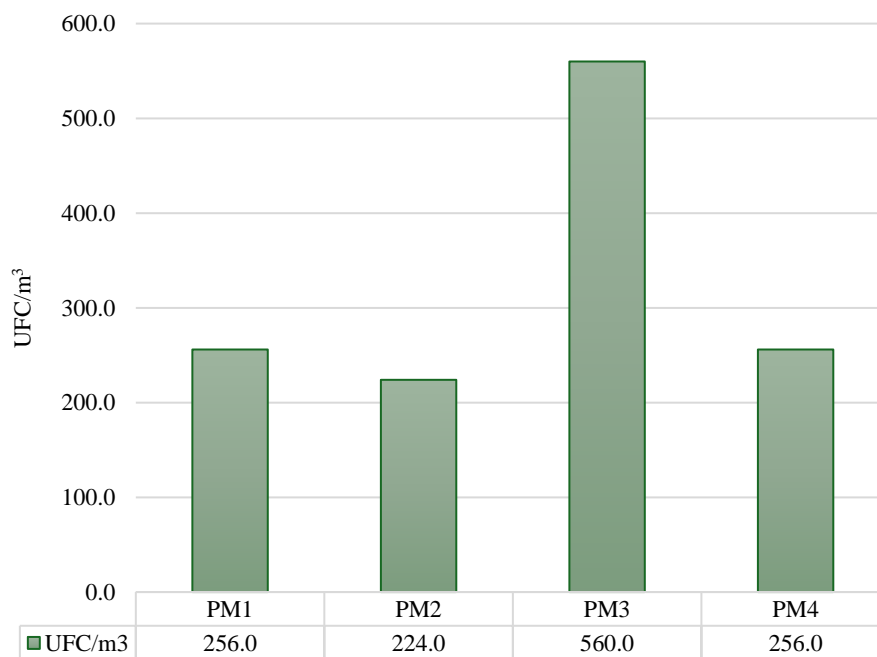


Figura 14. Carga fúngica promedio

Los resultados obtenidos para la carga fúngica se aprecian en la Tabla 16. Y la Figura 14, y se ve que no varían mucho entre las medias de estos valores, a diferencia de PM3, donde duplica al resto de puntos de muestreos, concordando así (excepto por PM3), con los resultados obtenidos por Ogórek (2018), que realizó su estudio en la Cueva de la Libertad Demänovská en Eslovaquia, en sus muestreos, vió que las concentraciones fúngicas no oscilaban mucho, ya que los valores medios que obtuvo solo solo fueron desde 86,7 a 126,7 UFC/m³ de hongos dentro de la cueva, pero siendo más elevado en el testigo al exterior de esta (391,7 UFC/m³).

Ogórek et al. (2016), analizó la carga fúngica en dos cuevas, tanto en el guano del suelo de estas, como en el aire, encontrando cargas fúngicas promedios de 175,7 y 211,3 UFC/m³, en promedio en cada cueva, medias similares a las encontradas en los puntos de muestreo PM2 y PM4, del presente estudio, donde se obtuvo 224 y 256 UFC/m³ respectivamente, esto demuestra que a pesar de ser cuevas en diferentes lugares, pero con características similares con la Cueva de las Lechuzas, ya que ambos presentan guano en sus suelos, los valores medios de concentración de hongos en las cuevas suelen rondar la medias alrededor de 200 UFC/m³, en su estudio Ogórek et al., también demostró cuales eran las especies fúngicas que aportaban mayor carga fúngica al aire que provenían del guano, y eran las del género *Penicillium* y *Mucor*, siendo necesario para tener datos más completos de la carga fúngica el saber que hongos y cuanto están aportando estas cargas a la Cueva de las Lechuzas, y cuales vienen del guano del suelo.

4.3.1. Análisis estadístico

La Tabla 17. presenta los resultados del ANOVA para la carga fúngica por punto de muestreo, obteniendo como p-valor de 0,001, lo que indica que las diferencias en las cargas fúngicas entre los puntos de muestreo son estadísticamente muy significativas, ya que no se superó el umbral de 0,05.

Tabla 17. ANOVA para la carga fúngica por punto de muestreo

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p-valor
Entre grupos	374 720	3	124 906,667	8,579	0,001
Dentro de grupos	232 960	16	14 560		
Total	607 680	19			

La Tabla 18. muestra los resultados obtenidos de la prueba post hoc de tukey para comparar la carga fúngica entre los diferentes puntos de muestreo, obteniendo como resultados que existen diferencias significativas en la carga fúngica entre PM1 y PM3, con una

diferencia de medias de 304 UFC/m³ ($p = 0,005$), así como entre PM2 y PM3, con una diferencia de 336 UFC/m³ ($p = 0,002$), estas diferencias también se registran entre PM3 y PM4 con diferencias medias de 304 UFC/m³ y significancia estadística ($p = 0,005$). Viéndose en todos los casos que PM3 estadísticamente diferente a los otros puntos de muestreo en lo que concierne a carga fúngica.

Tabla 18. Prueba Tukey entre los puntos de muestreo para la carga fúngica

Punto de muestreo (1)	Punto de muestreo (2)	Diferencia de medias	Intervalo de confianza	<i>p-valor</i>
PM3	PM1	304	85,7 – 522,3	0,005
	PM2	336	117,7 – 554,3	0,002
	PM4	304	85,7 – 522,3	0,005

Las diferencias significativas obtenidas entre los puntos de muestreo para carga fúngicas, fue de PM3 con PM1 (testigo), PM2 y PM4, plasmados en la Tabla 18, esto parece contrastar por lo obtenido por Ogórek (2018), que, aunque no realizó su prueba estadística se aprecia en sus resultados que la varianza de medias no es muy elevada entre los puntos interiores de la cueva que midió, pero si se aprecia una posible diferencia estadística entre su testigo y los puntos internos de la cueva que midió, ya que este supera por más del triple la carga fúngica obtenida en el interior de la Cueva de la Libertad, sucediendo lo contrario en la Cueva de las Lechuzas (PM3>PM1).

4.3.2. Comparación con el estándar para carga fúngica en el aire

La Figura 15 compara los niveles de carga fúngica en los puntos de muestreo de acuerdo con lo normado por la ECA, obteniéndose como resultado que los puntos de muestreo PM1, PM2 y PM4 presentan niveles de contaminación “Intermedia”, mientras que en PM3 se registró que al superar los 500 UFC/m³, este tiene una clasificación de contaminación “Alta”, siendo el único punto de muestreo que superó el nivel de contaminación “Intermedia”.

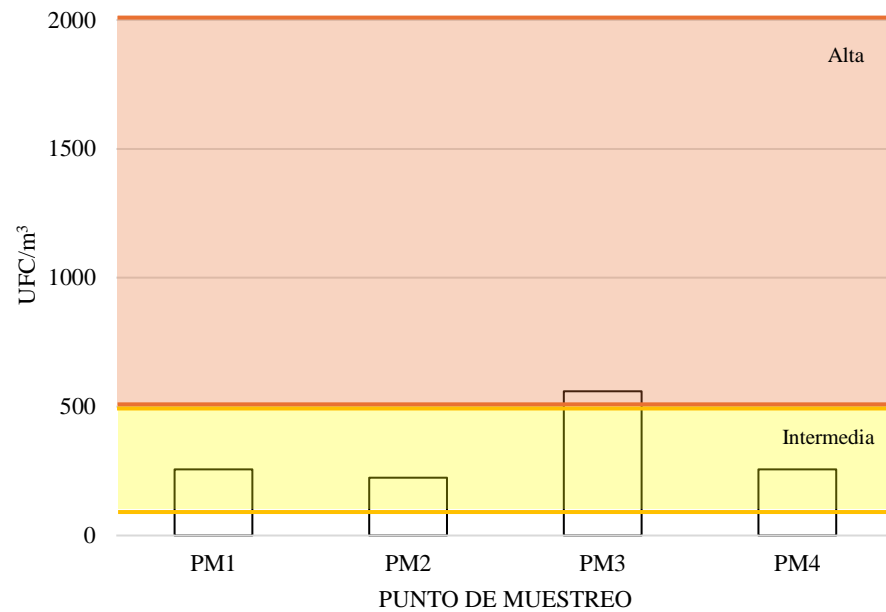


Figura 15. Niveles de contaminación según la ECA para la carga fúngica

Estos niveles de contaminación hallados en niveles por debajo de “contaminación alta” (a excepción de PM3), son congruentes con los resultados de carga fúngica de los más de 108 muestreos de aire en la Cueva de la Libertad Demänovská en Eslovaquia obtenidos por Ogórek (2018), en el cual incluso usando 2 medios de agar, obtuvo valores que oscilaban de 86,7 a 126,7 UFC/m³, valores de contaminación intermedio como los del presente estudio. Sin embargo, donde si hubo diferencias marcadas con el estudio de Ogórek (2018), fue que en su testigo obtuvo valores de contaminación por carga fúngica mayores en comparación los muestreados en el interior de la Cueva de la Libertad Demänovská.

V. CONCLUSIONES

1. Las concentraciones de CO₂ dentro de la cueva se mantuvieron por debajo de niveles que se consideran elevados mientras que el O₂ permaneció en un rango estable, además, no se detectó presencia de monóxido de carbono en ningún momento durante el estudio.
2. La carga bacteriana del aire en el recorrido turístico de la Cueva de las Lechuzas varía significativamente entre los diferentes puntos de muestreo, destacando que PM4 presenta la concentración más alta mientras que los otros puntos de muestreo muestran valores considerablemente menores, pero igual todos son considerados elevados.
3. La carga fúngica del aire interior del recorrido turístico de la Cueva de las Lechuzas muestra valores normales en PM2 y PM4, mientras que PM3 duplica y más la carga fúngica de estos siendo ya un valor elevado.
4. Los resultados obtenidos mostraron que la presencia de los gases CO₂, O₂ y CO con concentraciones que se encuentran dentro de los límites establecidos por las normativas de calidad del aire, garantizando un ambiente libre de niveles contaminantes de estos gases pero también, se evidenció la presencia de una alta carga de bacterias y fungi en el aire del recorrido turístico de la cueva que no es apto para la salud humana.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Realizar estudios de gases y carga microbiológica a mayor profundidad de la Cueva de las Lechuzas, para apreciar la variación de estos valores con respecto a los muestreados en este estudio que solo midió hasta los 240 metros de profundidad.
2. A una futura investigación microbiológica en la cueva, realizar la identificación de las bacterias y hongos presentes en el aire del interior de la Cueva de las Lechuzas para identificar las posibles especies patógenas de este entorno.
3. A las futuras investigaciones sobre gases en la Cueva de las Lechuzas, realizar la toma de datos en paralelo en los diferentes puntos de muestreo que vayan a tomar, así como ver la variabilidad entre horas, turno mañana, tarde noche.
4. Realizar la evaluación de riesgos microbiológicos en todo el recorrido turístico del interior de la Cueva de las Lechuzas.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ali, R., Samadi, H., Yde, L. y Ashraf, M. (2024). Carbon monoxide conversion by anaerobic microbiome in a thermophilic trickle bed reactor. *Biochemical Engineering Journal*. 212(1):1-11
- Arias, J., Holgado, J., Tafur, T. y Vásquez, M. (2022). Metodología de la investigación: El método ARIAS para realizar un proyecto de tesis. Editorial Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú. <https://editorial.inudi.edu.pe/index.php/editorialinudi/catalog/book/22>.
- Aróstegui, A. (2023). Variación de los factores climáticos y su relación con la densidad poblacional de Guácharos *Steatornis caripensis* Humboldt, 1817 en la Cueva de las Lechuzas, Periodo 2013-2020. [Tesis pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/8263d70c-bccc-4495-9fa3-ed6f1a9817dc/content>
- Aydoğdu, A. & Şevik, H. (2018). Indoor air quality: The samples of Ilgarini and Mantar caves. *Social Sciences Studies Journal*. 16(4), 1165-1176.
- Boldo, E. (2016). La contaminación del aire. https://www.researchgate.net/publication/312070894_La_contaminacion_del_aire
- Chen, X., Kumari, D. y Achal, V. (2020). Revisión sobre los microbios en el aire: Características de las fuentes, patogenicidad y geografía. *Atmosphere*. 11(9):919
- ECA. (1993). European Collaborative Action - Indoor air quality and its impact on man. Reporte N° 12. Biological Particles in Indoor Environments. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/859b1f78-ea84-44a1-a045-c230c2283c9e>
- El Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia. (2020). El aire que respiramos. Los efectos de la contaminación del aire y del cambio climático en la salud de la niñez en el Ecuador. UNICEF. https://www.unicef.org/ecuador/media/6611/file/Ecuador_el_aire_que_respiramos.pdf%20.pdf
- EMERSON. (julio, 2023). Gases tóxicos y combustibles en la industria del petróleo y el gas. <https://www.emerson.com/es-mx/automation/measurement-instrumentation/flame-gas-detection/gas-detectors-sensors/common-toxic-combustible-gases>
- Fernández, C. y Rengifo, M. (2022). Optimización del sistema de ventilación y la calidad de aire en la empresa minera artesanal La Chira S.R.L. [Tesis pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional.

- <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/32981/Fernandez%20Sanchez%20Christopher%20Jhancarlo%20Rengifo%20Lopez%20Manuel%20Rafael.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- García, G. & García, A. (2016). Un viejo nuevo gas: el monóxido de carbono (CO): aspectos esenciales en Biología, Patobiología, Bioclínica y Fármaco-Terapéutica Humana. *Revista IATREIA*. 71(3), 307-320.
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la Investigación Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. México D.F: McGRAW-HILL Interamericana editores.
- Hidalgo, R. (2023). *Calidad Microbiológica del aire del criadero de cerdos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva - Tingo María [Tesis pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]*. Repositorio Institucional. <https://repositorio.unas.edu.pe/handle/20.500.14292/2392>
- James, J. (12-17 de agosto de 2010). *Air Quality Measurements in the Undara Lava Tubes [Conferencia]*. Proceedings 14th International Symposium on Vulcanospeleology, Undara, Australia. <http://www.vulcanospeleology.org/sym14/papers/James.pdf>
- López, C. 2015. *Protocolos de prácticas de Microbiología Ambiental*. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú.
- MINCETUR. 2021. *Reporte Regional de Turismo. Reporte de turismo*. Huánuco, Perú. 5p.
- Ministerio de Industria y Energía. (02 de abril de 1985). Real Decreto 863/1985, 2 de abril, por el que se aprueba el Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera. Boe, Legislación consolidada. <https://www.boe.es/buscar/pdf/1985/BOE-A-1985-10836-consolidado.pdf>
- MINSA. (04 de julio de 2005). D.S. N° 015-2005-SA. Aprueban Reglamento sobre Valores Limite Permisibles para Agentes químicos en el Ambiente de Trabajo. *El Peruano*. Pag. 296135, 1-16. https://www.saludarequipa.gob.pe/desa/archivos/Normas_Legales/DS%20015-2005-SA%20APRUEBAN%20REGLAMENTO%20SOBRE%20VALORES%20LIMITE%20PERMISIBLES%20PARA%20AGENTES%20QUIMICOS%20EN%20EL%20AMBIENTE%20DE%20TRABAJO.pdf
- Molerio León, L. (2002) *Calidad ambiental de cuevas turísticas*. *Se puede*. 6(26), 22-26
- Nynne, R., Michelsen, A., & Sofia, A. (2020). *Decomposition of Organic Matter in Caves*. *Frontiers in Ecology and Evolution*. 8, 1-12.

- Ogórek, R. (2018). Espeleomicología del aire en la Cueva la Libertad Demänovská (Eslovaquia) y nuevas especies aéreas para sitios fúngicos. *Journal of cave and karst studies*. 80(3), 153-160.
- Ogórek, R., Dylag, M., Kozak, B., Visňovská, Z., Tancinova, D. y Lejman, A. (2016). Fungi isolated and quantified from bat guano and air in Harmanecká and Driny Caves (Slovakia). *Journal of cave and karst studies*. 78(1), 41-49.
- Ogórek, R., Guz-Regner, K., Kokurewicz, T., Baraniok, E. y Kokak, B. (2020). Bacterias aéreas cultivadas a partir de sitios de hibernación subterráneos en la Reserva de Murciélagos Nietoperek (Polonia). *Journal of cave and karst studies*. 80(4), 3-13.
- OMS. (noviembre, 2022). Boletín Organización de las Naciones Unidas. <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/air-quality-and-health/health-impacts/types-of-pollutants>
- OMS. 2015. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>
- Olivera, L., Oré, E., Loarte, W., Oré, J., Garcia, G. y Diaz, J. (2021). Calidad microbiológica del aire en seis áreas de la microestación biológica Zoocriadero de la Universidad Nacional Agraria de la Selva – Tingo María – Perú. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental* 61(4), 620-632.
- Organización de las Naciones Unidas. (2021). Resumen Ejecutivo - Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire. OMS. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/346062/9789240035461-spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pardo, E. y Robledo, P. (2016). Cuevas kársticas y no kársticas: del subsuelo terráqueo a las cavidades terrestres. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*. 24(1), 35-41.
- Perez, R., Patyniak, M., Sanchez, S., Bañon, E., Martinez, J., Cuezva, S., Lario, J., Marín, S., Silva, P., Giner, J. y Rodriguez, M. (2016). Incremento de CO₂ en cuevas profundas asociado a sismicidad cercana. *Revista Geotemas*. 16(1), 621-624.
- RKI. (2017). GX-6000 Detector de gases portátil. Ficha técnica y características. <https://www.rki-gassensor.de/media/pdf/16/00/1c/GX-6000-V2-1-ES.pdf>
- Romero, A. 2009. Biología de cuevas: Vida en la oscuridad. <https://proteascave.gr/wp-content/uploads/2018/11/Cave-Biology-Life-in-DarknessBBS.pdf>
- Sandoval, H. (2023). Hábitat de amplygygi (arachnida) como rasgo funcional a la adaptación al cambio climático en el Parque Nacional Tingo María y su zona de amortiguamiento

- Huánuco - Perú [Tesis postgrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.unas.edu.pe/items/ca7c81b0-66d0-47cf-80e5-5393e396fbc5>
- SERNANP (08 de febrero de 2017). Resolución Presidencial N° 031-2017-SERNANP. Aprobación de la actualización del Plan Maestro del Parque Nacional de Cutervo, periodo 2017-2021 (20 enero de 2022). Pag 1-46. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/506496/-178844916386056873220200203-11250-xfira.pdf>
- SERNANP (20 de enero de 2022). Resolución Presidencial N° 027-2022-SERNANP. Aprobación del Plan Maestro del Parque Nacional Tingo María 2022-2026. Pag 1-61. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2778220/RESOLUCION%20PRESIDENCIAL%20N%20027-2022-SERNANP.pdf.pdf?v=1642798238>
- Smith, G. (1998). Foul Air in limestone caves and its effects on Cavers. Westearn Australian Speleological Group (WASG). <https://wasg.org.au/specialties/environmental-hazards/foul-air#:~:text=As%20a%20comparison%2C%20normal%20air,generally%20rare%20in%20limestone%20caves>
- Stenner, C., Pflitsch, A., Florea, L., Graham, K. y Cartaya, E. (2022). Desarrollo y persistencia de atmósferas peligrosas en un sistema de cuevas glaciovolcanicas - Monte Rainier, Washington, USA. *Journal of cave and karst studies*. 84(2), 66-82.
- Torres, A. y Medrano, M. (2020). Variación de algunas variables químicas del Río Suaza al pasar por la Cueva de los Guacharos (Parque Nacional Natural Cueva de los Guacharos) por posible influencia de la especie *Steatornis caripensis*. Estudio de ecosistemas terrestres y acuáticos ubicados en el Parque Nacional Natural Cueva de los Guácharos (Acevedo, Huila). 92-102.S
- Van, M. (2009). Peruvian stalagmites as archives of Holocene temperature and rainfall variability [Tesis Ph.D., Vrije Universiteit Amsterdam]. Repositorio Institucional. <https://research.vu.nl/en/publications/peruvian-stalagmites-as-archives-of-holocene-temperature-and-rain>

VIII. ANEXOS

Anexo A. Autorizaciones otorgadas



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Servicio Nacional de
Áreas Naturales
Protegidas por el EstadoParque Nacional
Tingo María

"Año de la Unidad, la paz y el desarrollo"

Tingo María, 27 de setiembre de 2023

CARTA N° 42-2023-SERNANP-PNTMA

Señor

Cristian Domingo Rivera Panduro
Responsable de la investigación

Presente.-

Asunto : Remito Resolución Jefatural N° 10-2023-SERNANP-PNTM

Referencia: Solicitud de investigación S/N, de fecha 14 de setiembre de 2023

De mi mayor consideración. -

Tengo el agrado de dirigirme a usted, para saludarlo cordialmente y, en relación al documento de referencia, remitir adjunto la Resolución Jefatural N° 10-2023-SERNANP-PNTM, mediante el cual se autoriza el desarrollo de la investigación denominada "Calidad del aire en los interiores de la Cueva de las Lechuzas del Parque Nacional Tingo María 2023".

Asimismo, se adjunta la CARTA N° 41-2023-SERNANP-PNTMA, mediante el cual se autoriza el ingreso al Área Natural Protegida Parque Nacional Tingo María, para realizar dicha investigación.

Sin otro en particular, aprovecho la oportunidad para reiterarle las muestras de mi especial consideración y estima personal.

Atentamente,



Firmado digitalmente por FLORES
CORDERO Lorenzo Luis FAU
20478053178 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 27.09.2023 11:48:38 -05:00

Para visualizar y descargar los adjuntos, ingresar al siguiente link:
<http://foldersgd2.sernanp.gob.pe/index.php/s/3ydxduJ4LEhVvyM>

03 OCT 2023

CUT N° 038449-2023

Jefatura del Parque Nacional Tingo María
Jr. Elías Mabama N° 290 Tingo María - Huánuco
Teléfono: 062 - 563559

Sede Central SERNANP
Calle Diecisiete N° 355
Urb. El Palomar, San Isidro, Lima - 27
Teléfono: (511) 225 -2803
Fax: (511) 225 -1053

Figura 16. Carta 42-2024-SERNANP-PNTMA



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Servicio Nacional de
Áreas Naturales
Protegidas por el EstadoParque Nacional
Tingo María

"Año de la Unidad, la paz y el desarrollo"

Tingo María, 27 de setiembre de 2023

CARTA N° 41-2023-SERNANP-PNTMA**Señor:**Cristian Domingo Rivera Panduro
Responsable de la investigación**Presente.-****Asunto :** Autorización de ingreso al ANP Parque Nacional Tingo María para realizar investigación.**Referencia:** Solicitud de investigación S/N, de fecha de recepción 14 de setiembre de 2023 (CUT N° 038449-2023)

De mi mayor consideración. –

Tengo el agrado de dirigirme a usted, para saludarlo cordialmente y, a la vez, en relación al documento de referencia, mediante el cual usted solicita a la jefatura del Parque Nacional Tingo María autorización para realizar investigación titulado "Calidad del aire en los interiores de la Cueva de las Lechuzas del Parque Nacional Tingo María 2023", por el plazo de ocho (8) meses.

En tal sentido, el SERNANP a través de la Jefatura del Parque Nacional Tingo María, acorde con sus funciones y competencias establecidas mediante Decreto Supremo N° 006-2008-MINAM, la Ley N° 26834, su Reglamento Decreto Supremo N° 038- 2001-AG y Resolución Presidencial N° 214-2021-SERNANP, AUTORIZA el ingreso al Área Natural Protegida Parque Nacional Tingo María, para realizar investigación denominada "Calidad del aire en los interiores de la Cueva de las Lechuzas del Parque Nacional Tingo María 2023", por el período comprendido del 28 de setiembre al 31 de diciembre de 2023 y del 01 de enero al 28 de febrero de 2024, a las personas que a continuación se detalla:

Cuadro 1. Relación de personas que conforman el equipo de investigación

Nombres y apellidos	Organización	Cargo en la investigación	Nacionalidad	DNI/pasaporte	Especialidad/ ocupación
Cristian Domingo Rivera Panduro	Universidad Nacional Agraria de la Selva	Responsable	Peruano	76145280	Bachiller en Ingeniería Ambiental
Margarita Panduro Torres	-----	Colaborador	Peruana	22968847	Abogada

Las personas autorizadas durante su permanencia en el ANP Parque Nacional Tingo María, se comprometen a lo siguiente:

Jefatura del Parque Nacional Tingo María
Jr. Elías Mabama N° 296 Tingo María - Huánuco
Teléfono: 062 – 563559

Sede Central SERNANP
Calle Diecisiete N° 355
Urb. El Palomar, San Isidro, Lima – 27
Teléfono: (511) 225 -2803
Fax: (511) 225 -1053



PERU	Ministerio del Ambiente	Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado	Parque Nacional Tingo María
------	-------------------------	---	--------------------------------

"Año de la Unidad, la paz y el desarrollo"

1. Entregar una copia de la presente autorización al personal del puesto de vigilancia y control Cueva de las Lechuzas que lo solicite.
2. Está prohibido el ingreso y el uso de bolsas de plástico de un solo uso, sorbetes plásticos y envases de tecnopor para bebidas y alimentos de consumo humano en el ANP.
3. No extraer muestras biológicas distintas a las autorizadas.

Finalmente, le comunicamos que el PNTM – SERNANP, no asume la responsabilidad por los posibles accidentes o daños que pudiera sufrir su personal antes autorizadas durante su permanencia en el interior del ANP, debiendo tomar las precauciones debidas del caso.

Sin otro en particular, aprovecho la oportunidad para reiterarle las muestras de mi especial consideración y estima personal.

Atentamente,



Firmado digitalmente por FLORES
CORRECTOR Lorenzo Luis FAU
20478053178 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 27.09.2023 11:18:40 -05:00

Jefatura del Parque Nacional Tingo María
Jr. Elías Mabama N° 290 Tingo María - Huánuco
Teléfono: 062 – 563559

Sede Central SERNANP
Calle Diecisiete N° 355
Urb. El Palomar, San Isidro, Lima – 27
Teléfono: (511) 225 -2803
Fax: (511) 225 -1053

Figura 18. Carta 41-2024-SERNANP-PNTMA, página 2



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
 Tingo María – Perú
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
 Laboratorio de Calidad del Aire



Av. Universitaria S/N, km. 1.5 carretera a Huánuco. Central Telf. (062) 562342 – 562190.

Tingo María, 29 de setiembre de 2023

CARTA N° 35- 2023- LCA-EPIA-FRNR-UNAS/VMBA

PARA : Jefe de la oficina de Patrimonio
 DE : Dr. Víctor Manuel Beteta Alvarado
 Jefe de laboratorio de Calidad del Aire
 ASUNTO : Préstamo de Equipo Muestreador de Gases para desarrollo de tesis



Es grato dirigirme a usted, para saludarle y poner de su conocimiento que, como parte del desarrollo de la tesis del Bach. **Cristian Domingo RIVERA PANDURO**, con DNI 76145280, quien está desarrollando la tesis titulada "CALIDAD DEL AIRE EN LOS INTERIORES DE LA CUEVA DE LAS LECHUZAS DEL PARQUE NACIONAL TINGO MARIA 2023", la cual está aprobado según RESOLUCIÓN N°525-2023-D-FRNR-UNAS, ha solicitado el préstamo del equipo siguiente:

Equipo	Marca	Modelo	Código patrimonial	Accesorios
Muestreador de gases	RKI	GX - 6000	602263930001	- Detector portátil multitas (color rojo y negro) - Cargador - Maletín

El equipo será usado en campo según el cronograma siguiente

Mes	Fechas de monitoreo	Lugar	Horarios
Octubre	03 y 23	Cueva de	Diurno: 7:00 – 14:00
Noviembre	13 y 26	las	
Diciembre	03 y 18	Lechuzas	

El equipo estará retornando a las instalaciones de la UNAS cada fin de periodo de monitoreo (2 semanas por mes), por tanto, doy mi aprobación a lo solicitado como jefe de laboratorio y pido se dé el registro respectivo de salida del equipo para dichos fines, asimismo, se adjunta lo siguiente:

- Solicitud del Tesista
- Carta de compromiso
- Resolución de aprobación de proyecto de tesis
- Cronograma de actividades del proyecto de tesis.
- DNI del solicitante

Esperando sus prontas gestiones y atención a lo solicitante, quedo de Ud.

Atentamente:



Dr. Víctor Manuel Beteta Alvarado

Figura 19. Autorización de préstamo de detector de gases RKI GX-6000

Anexo B. Tablas complementarias

Tabla 19. Concentraciones de gases y factores ambientales por punto de muestreo

Punto de muestreo	Repetición	CO (ppm)	CO ₂ (ppm)	O ₂ (ppm)	T° (°C)	HR (%)
PM1	1	0	102,3	20,9	28,2	74,0
	2	0	97,8	20,9	30,1	62,7
	3	0	28,9	20,9	25,6	76,0
	4	0	90,2	20,8	27,6	74,3
	5	0	93,3	20,7	29,7	66,9
PM2	1	0	215,6	20,9	29,3	66,0
	2	0	282,2	20,9	27,3	66,3
	3	0	46,7	20,9	25,5	76,1
	4	0	231,1	20,9	27,8	72,6
	5	0	193,3	20,9	27,8	68,0
PM3	1	0	404,4	20,9	28,8	70,8
	2	0	357,8	20,9	26,1	70,9
	3	0	88,9	20,9	25,9	73,9
	4	0	295,6	20,9	27,4	73,7
	5	0	226,7	20,9	27,5	77,7
PM4	1	0	346,7	20,9	27,8	73,0
	2	0	506,7	20,9	25,3	79,0
	3	0	122,2	20,9	26,0	73,6
	4	0	411,1	20,9	27,2	75,0
	5	0	406,7	20,9	27,8	77,4

Tabla 20. Carga bacteriana por punto de muestreo

Punto de muestreo	Repetición	UFC/m ³
PM1	1	3600
	2	2000
	3	5200
	4	1120
	5	2480
PM2	1	4640
	2	3200
	3	4880
	4	2160
	5	8320
PM3	1	3360
	2	2640
	3	3040
	4	800

	5	2880
	1	13520
	2	25920
PM4	3	10880
	4	3680
	5	13440

Tabla 21. Carga fúngica por punto de muestreo

Punto de muestreo	Repetición	UFC/m ³
	1	400
	2	240
PM1	3	240
	4	80
	5	320
	1	400
	2	400
PM2	3	80
	4	80
	5	160
	1	640
	2	640
PM3	3	560
	4	480
	5	480
	1	320
	2	400
PM4	3	160
	4	160
	5	240

Anexo D. Panel fotográfico

Figura 20. Preparación de los medios para el muestreo microbiológico de aire



Figura 21. Ingreso al Parque Nacional Tingo María con la autorización del SERNANP



Figura 22. Muestreo microbiológico de hongos del aire en PM1



Figura 23. Monitoreo de gases y factores ambientales en PM1



Figura 24. Muestreo microbiológico de bacterias del aire de la cueva en PM2



Figura 25. Muestreo de gases y factores ambientales de la cueva en PM2



Figura 26. Muestreo microbiológico de hongos del aire de la cueva en PM3



Figura 27. Muestreo de gases y factores ambientales de la cueva en PM3



Figura 28. Muestreo microbiológico de hongos del aire de la cueva en PM4



Figura 29. Muestreo de gases y factores ambientales de la cueva en PM4



Figura 30. Sembrado del inóculo para recuento de bacterias

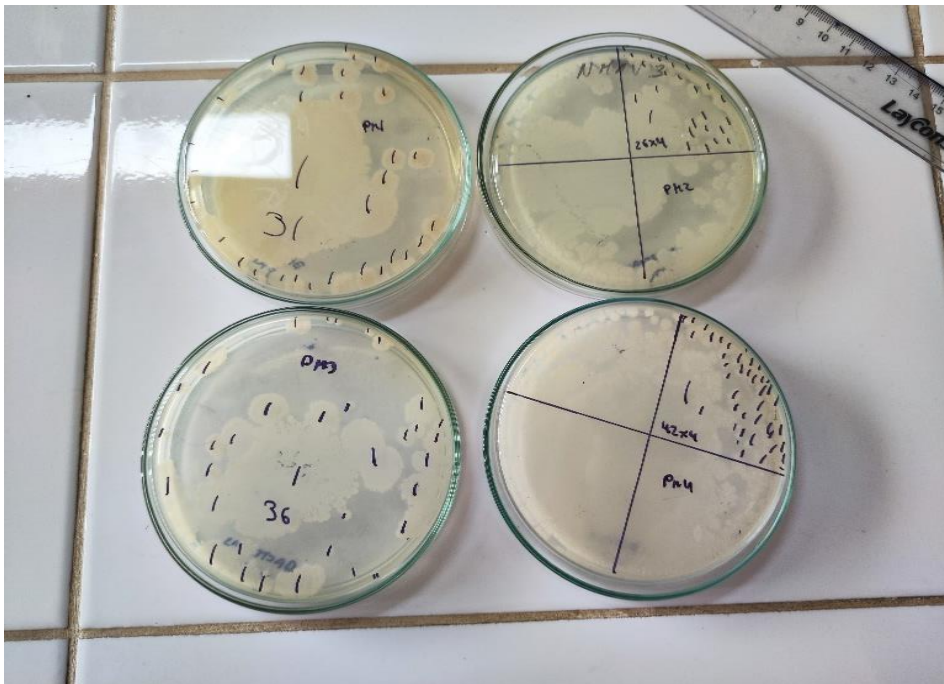


Figura 31. Recuento de colonias bacterianas



Figura 32. Recuento de colonias fúngicas



Figura 33. Sembrado del inóculo para recuento de fungus