

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
ESCUELA DE POSGRADO MAESTRÍA EN CIENCIAS CON
MENCIÓN EN BIOTECNOLOGÍA MOLECULAR



**Caracterización molecular de microorganismos nativos
formadores de biofilm para la colonización de tajos mineros de la
región de Cajamarca**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRA EN
CIENCIAS CON MENCIÓN EN BIOTECNOLOGÍA MOLECULAR**

AUTOR

Bach. Priscila Nair Heredia Reto

TUMBES, 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
ESCUELA DE POSGRADO MAESTRÍA EN CIENCIAS CON
MENCIÓN EN BIOTECNOLOGÍA MOLECULAR



Caracterización molecular de microorganismos nativos
formadores de biofilm para la colonización de tajos mineros de la
región de Cajamarca

Tesis aprobado en forma y estilo por:

Mg. Víctor Santos Guzmán Tripul Presidente

Dra. Rosa Liliana Solis Castro Secretaria

Dra. Rosa Liliana Solis Castro
Orcid 0000-0002-1843-8644

Mg. José Antonio Silva Chavez Vocal

TUMBES, 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
ESCUELA DE POSGRADO MAESTRÍA EN CIENCIAS CON
MENCIÓN EN BIOTECNOLOGÍA MOLECULAR



**Caracterización molecular de microorganismos nativos
formadores de biofilm para la colonización de tajos mineros de la
región de Cajamarca**

**Los suscritos declaramos que la tesis es original en su contenido
y forma:**

Blga. Priscila Nair Heredia Reto

Autor

Ph. D. Benoit Mathieu Diringer

Asesor

Mg. Rosita T. Castillo Rogel

Coasesor

TUMBES, 2025

Acta de sustentación



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
Licenciada
Resolución del Consejo Directivo N° 155-2019-SUNEDU/CD
ESCUELA DE POSGRADO
Tumbes – Perú

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

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Tumbes, a los 25 días de setiembre del dos mil veinticinco, siendo las 20 horas y 00 minutos, se reunieron mediante la modalidad virtual (https://teams.microsoft.com/v/meetup-join/19%3ameeting_ZTA5YmFkZjUtnzRlOC00MmM4LW11YzYtODYyNDMwNjZlMTYx%40thread.v2/0?context=%7b%22Tid%22%3a%22149bf9fd-f38a-4b75-90c1-1c43013ccd65%22%2c%22Oid%22%3a%227bc4259e-0c9f-4918-8043-cba68609d990%22%7d), los miembros del jurado calificador constituido con la Resolución N° 0397-2022 /UNTUMBES-EPG-D, del dieciséis de setiembre del dos mil veintidós, presidido por el Mg Víctor Santos Guzman Tripul, e integrado por la Dra. Rosa Lilliana Solis Castro (secretaria), Mg. José Antonio Silva Chávez (vocal) además del Dr. Benoit Mathieu Diringer (asesor).

Instalado el jurado, se procedió a la evaluación, deliberación y calificación del acto de la sustentación de la tesis titulada: "Caracterización molecular de microorganismos nativos formadores de biofilm para la colonización de tajos mineros de la región de Cajamarca" presentada por la egresada **Bach. Priscila Nair Heredia Reto** para optar el grado académico de **MAESTRA EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN BIOTECNOLOGÍA MOLECULAR**.

Concluida la sustentación y absueltas las preguntas, por parte del (la) sustentante y después de la correspondiente, deliberación el jurado, conforme a lo normado en el artículo N° 111 del Reglamento de Tesis de la Universidad Nacional de Tumbes, declara al sustentante **APROBADO**, por unanimidad con el calificativo de **MUY BUENO**.

Por lo anterior, el sustentante está expedito para iniciar los trámites correspondientes y conducentes a la obtención del grado académico de Maestra en Ciencias con mención en Biotecnología Molecular, en conformidad con lo normado en la Ley Universitaria N° 30220, el Texto Único Ordenado del Estatuto, El Reglamento General, el Reglamento General de Grados Títulos y el Reglamento de Tesis de la Universidad Nacional de Tumbes.

Siendo las 22 horas y 15 minutos, del mismo día, se dio por concluido la ceremonia académica, procediendo a firmar el acta en presencia de público asistente.

Tumbes, 25 de setiembre del 2025


Mg. Víctor Santos Guzmán Tripul
Presidente
DNI: 48090530

Código ORCID: 0000-0002-5304-0407


Dra. Rosa Lilliana Solis Castro
Secretaria
DNI: 17628592

Código ORCID: 0000-0002-1813-8644


Mg. José Antonio Silva Chávez
Vocal
DNI: 41013171

Código ORCID: 0000-0001-5763-407X


Dr. Benoit Mathieu Diringer
Asesor

Carnet de extranjería 000727051
Código ORCID: 0000-0001-6129-1751

C.c.
Jurado de Tesis (03),
Asesor
Interesado
Coasesor (es)
Unidad de Investigación,
Archivo (Director EPG).

Informe de originalidad

Tesis_Priscila Heredia Reto (1).pdf

por Priscila Nair Heredia Reto

Fecha de entrega: 20-06-2025 11:10p.m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 2702301538
Nombre del archivo: Tesis_Priscila_Heredia_Reto_1_.pdf (3.19M)
Total de palabras: 30731
Total de caracteres: 175176



Benoit Mathieu SPRINGER - Asesor

ORCID: 0000-0001-6129-1751

Tesis_Priscila Heredia Reto (1).pdf

INFORME DE ORIGINALIDAD



Benoit Mathieu SPRINGER - Asesor

ORCID: 0000-0001-6129-1751

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.untumbes.edu.pe Fuente de Internet	1%
2	Submitted to Universidad Nacional de Tumbes Trabajo del estudiante	<1%
3	app.inti.gob.ar Fuente de Internet	<1%
4	myslide.es Fuente de Internet	<1%
5	Submitted to Universidad Estatal Amazonica- Trabajo del estudiante	<1%
6	Submitted to Liverpool John Moores University Trabajo del estudiante	<1%
7	Xiomara Moreno, Melanie Ventura, María Mercedes Panizo, María Fátima Garcés. "Evaluación de la formación de biopelículas en aislamientos bacterianos y fúngicos por el método semicuantitativo de microtitulación con cristal violeta y el cualitativo de agar con rojo Congo", Biomédica, 2022 Publicación	<1%
8	idus.us.es Fuente de Internet	<1%

9	Submitted to Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann <small>Trabajo del estudiante</small>	<1 %
10	assets-eu.researchsquare.com <small>Fuente de Internet</small>	<1 %
11	www.researchgate.net <small>Fuente de Internet</small>	<1 %
12	www.revistafronterabiotecnologica.cibatlaxcala.ign.mx <small>Fuente de Internet</small>	<1 %
13	recursos.corpoica.org.co <small>Fuente de Internet</small>	<1 %
14	vdoc.pub <small>Fuente de Internet</small>	<1 %
15	dugi-doc.udg.edu <small>Fuente de Internet</small>	<1 %
16	dspace.ups.edu.ec <small>Fuente de Internet</small>	<1 %
17	www.compostandociencia.com <small>Fuente de Internet</small>	<1 %
18	Jingjing Guo, Wulong Luo, Xiaowen Wu, Yong Li, Zirmin Liu, Hui Fang, Qi Chen, Enchao Li, Yunkun Wang. "Stochastic and deterministic mechanisms jointly drive the assembly of microbial communities in cold-rolling wastewater across China", Journal of Hazardous Materials, 2025 <small>Publicación</small>	<1 %
19	es.scribd.com <small>Fuente de Internet</small>	<1 %
	bibliotekanauki.pl	
20	<small>Fuente de Internet</small>	<1 %
21	dx.doi.org <small>Fuente de Internet</small>	<1 %
22	hdl.handle.net <small>Fuente de Internet</small>	<1 %
23	www.e-allscience.com <small>Fuente de Internet</small>	<1 %
24	repositoriodigital.uns.edu.ar <small>Fuente de Internet</small>	<1 %
25	buleria.unileon.es <small>Fuente de Internet</small>	<1 %
26	repositorio.puce.edu.ec <small>Fuente de Internet</small>	<1 %
27	sci-platform.org <small>Fuente de Internet</small>	<1 %
28	Submitted to uniminuto <small>Trabajo del estudiante</small>	<1 %
29	vdocuments.es <small>Fuente de Internet</small>	<1 %
30	Patricia Martínez-Jaimes, Edgar Martínez Fernández, Dagoberto Guillén-Sánchez, Ramón Suárez-Rodríguez et al. "Necrosis de la raíz de la caña de azúcar (Saccharum officinarum) causada por Fusarium spp.", Acta Agrícola y Pecuaria, 2020 <small>Publicación</small>	<1 %
31	Submitted to Universidad Católica de Santa María <small>Trabajo del estudiante</small>	<1 %



Benoit Mathieu DIRINGER - Asesor

ORCID: 0000-0001-6129-1751



Benoit Mathieu DIRINGER - Asesor

ORCID: 0000-0001-6129-1751

32	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1 %
33	Submitted to Universidad San Francisco de Quito Trabajo del estudiante	<1 %
34	Submitted to Universidad de la Amazonia Trabajo del estudiante	<1 %
35	coggle.it Fuente de Internet	<1 %
36	cybertesis.uni.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
37	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
38	pubmed.ncbi.nlm.nih.gov Fuente de Internet	<1 %
39	ri-ng.uaq.mx Fuente de Internet	<1 %
40	www.ojs.suelos.org.ar Fuente de Internet	<1 %
41	Submitted to Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo Trabajo del estudiante	<1 %
42	Zamorano Almonte, Vasty Constanza Nicol. "Aislamiento y caracterización de un nuevo microorganismo reductor de hierro exoelectrogenico", Pontificia Universidad Católica de Chile (Chile), 2021 Publicación	<1 %
43	sedici.unlp.edu.ar Fuente de Internet	<1 %
44	cicy.repositorioinstitucional.mx Fuente de Internet	<1 %
45	dspace.pucesi.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
46	huru.unsj.edu.ar Fuente de Internet	<1 %
47	scholar.ufs.ac.za Fuente de Internet	<1 %



Benoit Mathieu DIRINGER - Asesor

ORCID: 0000-0001-6129-1751

Excluir citas Activo Excluir coincidencias < 15 words
 Excluir bibliografía Activo



Benoit Mathieu DIRINGER - Asesor

ORCID: 0000-0001-6129-1751

DEDICATORIA

A Dios por todas las bendiciones que me otorga cada día. Y a mi familia, por su apoyo incondicional permanente.

AGRADECIMIENTO

Agradezco inmensamente a Dios, en lo profesional, por brindarme la oportunidad de estudiar esta maestría y en lo personal, por su gracia que me sostiene para seguir adelante con mi propósito.

A mis padres, que son mi fuente de inspiración y mi agradecimiento eterno por sus enseñanzas de vida que me guían.

Y para culminar, agradezco a todas las personas e instituciones que colaboraron para llevar a cabo la tesis, Incabiotec SAC, Compañía de minas Buenaventura SAA, Mina La Zanja SRL y Coimolache SA. También a la Universidad Nacional de Tumbes, a mi jurado y mis maestros, Eric, Virna, Benoit, Dicson y Rosita, a quienes recuerdo con cariño. Menciones especiales para Gabriela Palomino, Jean Louis Falen, Mauricio Zingg y a mi equipo de trabajo, sin su apoyo no habría sido posible la ejecución del presente proyecto.

ÍNDICE

Resumen.....	XVI
Abstract.....	XVII
I. Introducción.....	18
II. Revisión de la literatura.....	21
2.1. Conceptos teóricos	21
2.1.1. Minería.....	21
A. Mina de tajo abierto.....	21
B. Suelos mineros	22
C. Drenaje ácido de mina	23
2.1.2. Microbiología.....	23
A. Bacteria.....	23
B. Cianobacteria.....	24
C. Hongos.....	24
D. Microalgas.....	24
E. <i>Biofilm</i>	25
Fases de formación de <i>biofilms</i>	25
i. Contacto inicial o adhesión:	25
ii. Maduración:	26
iii. Dispersión:	26
2.1.3. Biología Molecular	27
1) Definiciones	27
2) Técnicas.....	32
2.2. Antecedentes	35
III. Metodología	38
Actividad 1: Recolección de muestras del tajo y suelo de las operaciones mineras auríferas “Minería La Zanja” (MLZ) y Coimolache S.A. (CMC)	38
Actividad 2: Caracterización metagenómica de las comunidades microbianas estudiadas	40
Actividad 3: Aislamiento selectivo y caracterización de microorganismos de interés.....	43

Actividad 4: Selección e identificación molecular de los microorganismos de interés	45
Actividad 5: Pruebas de antagonismo	46
Actividad 6: Formación de <i>biofilm</i> de bacterias y levaduras para la formulación de consorcios.....	47
Actividad 7: Masificación de microorganismos de los consorcios seleccionados para roca.....	48
Actividad 8: Ensayo de colonización de microorganismos formadores de <i>biofilms</i> a pequeña escala en el laboratorio.....	50
Actividad 9: Sucesión ecológica	53
Actividad 10: Procesamiento y análisis de datos	56
IV. Resultados y discusión.....	57
4.1. Caracterización metagenómica de las comunidades microbianas estudiadas	57
57	
Datos de secuenciación	57
Metagenómica de bacterias	58
Metagenómica de hongos	65
4.2. Aislamiento selectivo, identificación molecular y caracterización de microorganismos de interés	70
4.3. Pruebas de antagonismo	77
Pruebas de antagonismo entre los grupos.....	80
4.4. Formación de biopelículas de bacterias y levaduras para la formulación de consorcios	86
4.5. Masificación de microorganismos de los consorcios seleccionados para roca	88
88	
Crecimiento óptimo de los microorganismos a diversas concentraciones de melaza	88
88	
Curvas de crecimiento al 2.5 % de melaza de levaduras y bacterias.....	92

Curvas de crecimiento bacteriano a 20 °C y 30 °C	93
4.6. Ensayo de colonización de microorganismos formadores de biopelículas a pequeña escala en el laboratorio	94
Bioensayo de colonización de bacterias, hongos, cianobacterias/microalgas en rocas	94
Bioensayo de cianobacterias/microalgas en diferentes sustratos	97
Bioensayo de cianobacterias/microalgas en rocas de gran tamaño.....	99
4.7. Sucesión ecológica	100
Ensayo de crecimiento de hongos y microalgas en rocas.....	100
Ensayo sucesión de hongos, cianobacterias/microalgas y bacterias	108
V. Conclusiones.....	112
VI. Recomendaciones	113
VII. Referencias bibliográficas	114
VIII. Anexos	136

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Evaluación del pH en diferentes tratamientos de microalgas y hongos....</i>	54
Tabla 2	<i>Tratamientos para impermeabilización y mejoramiento de pH</i>	56
Tabla 3	<i>Número de secuencias crudas y filtradas utilizadas para el análisis metagenómico dirigido al gen ARNr 16S y al gen ARNr ITS.....</i>	58
Tabla 4	<i>Número de OTU bacterianas en muestras de suelos y tajos.....</i>	59
Tabla 5	<i>Número de OTU fúngicas en muestras de suelo y tajos.....</i>	65
Tabla 6	<i>Bacterias y levaduras aislados en los medios selectivos.....</i>	70
Tabla 7	<i>Hongos aislados en los medios selectivos.....</i>	72
Tabla 8	<i>Cianobacterias/microalgas aisladas en medio BG11</i>	74
Tabla 9	<i>Prueba de compatibilidad entre bacterias.....</i>	78
Tabla 10	<i>Prueba de compatibilidad entre hongos.....</i>	79
Tabla 11	<i>Prueba de compatibilidad entre bacterias y hongos filamentosos</i>	81
Tabla 12	<i>Prueba de compatibilidad entre consorcios bacterianos y cianobacterias y/o microalgas</i>	82
Tabla 13	<i>Prueba de compatibilidad entre hongos y cianobacterias/microalgas... ..</i>	85
Tabla 14	<i>Curvas de Crecimiento Bacteriano en Medio LB a 20 °C y 30 °C.....</i>	94
Tabla 15	<i>pH promedio del agua de las rocas.....</i>	95
Tabla 16	<i>Medida del pH del lavado de rocas con inóculos masificados en melaza</i>	96
Tabla 17	<i>Crecimiento de cepas de microalgas y hongos.....</i>	101
Tabla 18	<i>Tratamientos propuestos de sucesión de los microorganismos.....</i>	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Terminología de una explotación a tajo abierto.....	21
Figura 2 Ciclo de vida del biofilm.....	26
Figura 3 Estructura del ribosoma en procariota.....	29
Figura 4 Genes ribosomales y sus espacios interunidades, espacios intergénicos y dominios de la subunidad grande.....	30
Figura 5 Protocolo de amplificación por PCR.....	34
Figura 6 Ubicación geográfica de los puntos de muestreo en las operaciones mineras La Zanja y Coimolache.....	39
Figura 7 Electroforesis.....	42
Figura 8 Proceso de diluciones seriales a partir de las placas madres de cianobacterias y/o microalgas.....	49
Figura 9 Masificación de cianobacterias y/o microalgas a 100 ml.....	50
Figura 10 Cepas seleccionadas para el bioensayo.....	51
Figura 11 Superficies utilizadas para el bioensayo.....	52
Figura 12 Rocas de mayor tamaño utilizadas en el bioensayo.....	53
Figura 13 Pasos de medición del pH.....	54
Figura 14 Abundancia relativa de filos bacterianos. A. Suelos. B. Tajos.....	61
Figura 15 Abundancia relativa de géneros bacterianos. A. Suelos. B. Tajos.....	64
Figura 16 Abundancia relativa de filos fúngicos. A. Suelos. B. Tajos.....	67
Figura 17 Abundancia relativa de géneros fúngicos. A. Suelos. B. Tajos.....	69
Figura 18 Cianobacterias/microalgas presentes en cada muestra.....	77
Figura 19 A. Ensayo de producción de biofilm. B. <i>Acinetobacter septicus</i> (OA3): Control Positivo. C. <i>Acinetobacter septicus</i> (OA2). D. <i>Pandoraea terrigena</i> (UA3). E. <i>Serratia</i> sp. (OP1). F. <i>Serratia quinivorans</i> (L4).....	87
Figura 20 Crecimiento de bacterias a diversas concentraciones de melaza.....	89
Figura 21 Crecimiento hongos filamentosos a diversas concentraciones de melaza.....	91
Figura 22 Crecimiento de <i>Candida tropicalis</i> (L1) a diversas concentraciones de melaza.....	92
Figura 23 Crecimiento de la bacteria <i>Serratia quinivorans</i> (L4) al 2.5 % de melaza.....	93
Figura 24 Crecimiento de levadura <i>Candida tropicalis</i> (L1) al 2.5 % de melaza..	93

Figura 25 <i>pH promedio del lavado de rocas</i>	97
Figura 26 <i>Colonización de superficie semilisa</i>	98
Figura 27 <i>Presencia de Pseudococcomyxa (cepa 3) en loseta</i>	98
Figura 28 <i>Colonización de la microalga Pseudococcomyxa (cepa 3) en roca</i> ...	100
Figura 29 <i>Crecimiento de hongos filamentosos y Pseudococcomyxa (cepa 3)</i> .	102
Figura 30 <i>Crecimiento de los hongos filamentosos y Characium (cepa 4)</i>	102
Figura 31 <i>Crecimiento de los hongos filamentosos y Fallacia, Fistulifera y Pseudococcomyxa (cepa 11)</i>	103
Figura 32 <i>Crecimiento del Pseudeurotium zonatum (H9) sobre las rocas con Pseudococcomyxa (microalga 3)</i>	104
Figura 33 <i>Crecimiento de Penicillium scabrosum (H1), Penicillium nothofagi (H6) y Neurospora crassa (H8) con Pseudococcomyxa (microalga 3), y del hongo 1 con la microalga 11</i>	104
Figura 34 <i>Medición de pH entre Pseudococcomyxa (microalga 3) y: A. Penicillium scabrosum (Hongo 1). B. Pseudeurotium bakeri (Hongo 5). C. Neurospora crassa (Hongo 8). D. Pseudeurotium zonatum (Hongo 9)</i>	105
Figura 35 <i>Medición de pH entre la microalga 11 (Fallacia, Fistulifera y Pseudococcomyxa) y: A. Talaromyces francoae (Hongo 2). B. Trichoderma viridescens (Hongo 3). C. Pseudeurotium bakeri (Hongo 5). D. Penicillium pulvillorum (Hongo 7). E. Neurospora crassa (Hongo 8)</i>	106
Figura 36 <i>Tratamientos propuestos de sucesión de los microorganismos</i>	111
Figura 37 <i>Tratamientos individuales o grupales propuestos</i>	111

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 <i>Información de puntos de muestreo</i>	136
Anexo 2 <i>Número inicial de esporas de hongos utilizadas para el ensayo</i>	138
Anexo 3 <i>Tabla de Evaluación del Aspecto Superficial</i>	138
Anexo 4 <i>Protocolo de extracción</i>	138
Anexo 5 <i>Imágenes de trabajo</i>	140

Resumen

Las operaciones de cierre de minas buscan restaurar los ecosistemas alterados a condiciones similares a las originales. Los microorganismos desempeñan un papel fundamental en el equilibrio del suelo y son esenciales para los procesos de restauración ecológica. Por ello, se caracterizaron microorganismos que mediante un enfoque metagenómico se analizó la estructura y composición bacteriana y fúngica en distintos tipos de suelos de una mina de oro a cielo abierto en Cajamarca: suelos prístinos, suelos superficiales almacenados (topsoils) suelos enriquecidos (tecnosuelos), tecnosuelos revegetados y tajos visualmente diferenciados. El análisis filogenético reveló un predominio en la comunidad bacteriana de los filos Proteobacteria y Acidobacteria en todas las muestras del suelo, mientras que los hongos Ascomycota predominó en suelos prístinos y topsoils, y Basidiomycota en los tecnosuelos. La composición microbiana a nivel de género varió entre los tipos de suelo, lo que sugiere una influencia de las enmiendas y la revegetación. En los tajos, referente a las bacterias de las muestras del suelo se observó un predominio de Proteobacteria y en combinaciones variables de hongos Ascomycota/Basidiomycota para cada muestra. Además, se aislaron e identificaron catorce bacterias, una levadura, nueve hongos filamentosos y quince cepas de cianobacterias/microalgas, a partir de los cuales se seleccionaron posibles consorcios microbianos nativos, capaces de generar *biofilms* y mejorar el pH de rocas extraídas de tajos mineros bajo condiciones controladas. Estos resultados fueron validados mediante ensayos *in vitro*, que confirmaron que los microorganismos seleccionados forman *biofilm* tanto de manera individual como en consorcio. Lo que exhibió un comportamiento sinérgico que favorece la formación de estructuras multicelulares más resistentes. Estos hallazgos evidencian un alto potencial de aplicación de este consorcio microbiano como herramienta en procesos de biorremediación asociados a la industria minera.

Palabras clave: Bacterias, hongos, cianobacterias/microalgas, secuenciación de próxima generación, mina de oro, biopelícula.

Abstract

Mine closure operations aim to restore altered ecosystems to pristine conditions. Microorganisms play a fundamental role in soil balance and are essential for ecological restoration processes. Therefore, microorganisms were characterized and, using a metagenomic approach, their bacterial and fungal structure and composition were analyzed in different soil types at an open-pit gold mine in Cajamarca: pristine soils, stockpiled surface soils (topsoils), enriched soils (technosols), revegetated technosols, and visually differentiated pits. Phylogenetic analysis revealed a predominance of the Proteobacteria and Acidobacteria phyla in the bacterial community in all soil samples, while Ascomycota fungi predominated in pristine soils and topsoils, and Basidiomycota in the technosols. Microbial composition at the genus level varied among soil types, suggesting an influence of soil amendments and revegetation. In the pits, regarding the bacteria in the soil samples, a predominance of Proteobacteria was observed, along with varying combinations of Ascomycota/Basidiomycota fungi for each sample. Additionally, fourteen bacteria, one yeast, nine filamentous fungi, and fifteen strains of cyanobacteria/microalgae were isolated and identified. From these, potential native microbial consortia capable of generating biofilms and improving the pH of rocks extracted from mining pits under controlled conditions were selected. These results were validated through in vitro assays, which confirmed that the selected microorganisms form biofilms both individually and in consortia. This exhibited synergistic behavior that favors the formation of more resistant multicellular structures. These findings demonstrate the high potential for application of this microbial consortium as a tool in bioremediation processes associated with the mining industry.

Keywords: Bacteria, fungi, cyanobacteria/microalgae, next-generation sequencing, gold mine, biofilm.