



UNIVERSIDAD NACIONAL
“JOSE FAUSTINO SANCHEZ CARRION”
VICERECTORADO ACADEMICO



Sílabo por Competencias

Facultad	:	Ingeniería Química y Metalúrgica
Escuela profesional	:	Ingeniería Metalúrgica
Departamento	:	Ingeniería Metalúrgica

I. DATOS GENERALES

Nombre	:	Biotecnología para Ingeniería Metalúrgica (e)									
Línea de Carrera	:	Ingeniería y Tecnología									
Código	:	36-05-305									
Carrera (s)	:	Ingeniería Metalúrgica									
Semestre Académico	:	2026- I									
Sección	:	A									
Tipo de asignatura	:	Presencial									
Prerrequisitos	:	36-05-204 (Química Analítica)									
Créditos	:	02									
Número de Horas	:	Teóricas	:	1	Practica	:	0	Laboratorio	:	2	
Ciclo	:	V									
Duración de la Asignatura	:	30-03-2026			al			17-07-2026			
Coordinador de la Asignatura	:										
Docente	:	Ramirez Nicho, Jorge Martin						Martin.ramireznicho@gmail.com			
N° Celular	:	987337508									

II. Competencia.

El estudiante integra y aplica los fundamentos de la biotecnología en procesos metalúrgicos para el desarrollo de tecnologías de biobeneficio, biolixiviación, biomineralización y biorremediación, mediante la evaluación de microorganismos, variables operacionales y mecanismos bioquímicos involucrados en la recuperación, transformación y tratamiento de minerales y metales, proponiendo soluciones innovadoras, sostenibles y técnicamente viables, con responsabilidad ambiental, ética profesional y capacidad de trabajo colaborativo e interdisciplinario.

III. Sumilla.

La asignatura corresponde al área de formación profesional de complementarios especializados y es de carácter teórico-práctica. Tiene como propósito desarrollar competencias en la aplicación de la biotecnología a los procesos metalúrgicos y ambientales, mediante el estudio y utilización de microorganismos y mecanismos bioquímicos involucrados en la transformación, recuperación y tratamiento de minerales y metales. La asignatura comprende cuatro módulos fundamentales: biobeneficio (I), orientado al acondicionamiento y mejoramiento biológico de minerales; biolixiviación (II), aplicada a la recuperación de metales a partir de minerales sulfurados y oxidados; biorremediación (III), enfocada en el tratamiento de efluentes, drenajes ácidos y pasivos ambientales mineros; y biomineralización (IV), relacionada con la formación, precipitación y recuperación biológica de compuestos minerales y metales disueltos. Asimismo, integra criterios técnicos, operacionales, ambientales y de sostenibilidad en el desarrollo de soluciones innovadoras para la industria metalúrgica.

IV. Resultados de Aprendizaje.

Unidad / Módulo	Indicador de desempeño (ID)	Resultado de aprendizaje (RA)
Módulo 1: Biobeneficio	ID ₁ : Describe procesos biotecnológicos aplicados al acondicionamiento y mejoramiento de minerales.	RA ₁ : Explica fundamentos y aplicaciones del biobeneficio en el procesamiento de minerales.
Módulo 2: Biolixiviación	ID ₂ : Evalúa microorganismos y variables operacionales involucradas en la disolución biológica de minerales.	RA ₂ : Analiza procesos de biolixiviación de minerales sulfurados y oxidados considerando parámetros microbiológicos y metalúrgicos.
Módulo 3: Biorremediación	ID ₃ : Propone estrategias biológicas para el tratamiento de efluentes y pasivos ambientales mineros.	RA ₃ : Diseña alternativas de biorremediación aplicadas al control de contaminación minera y metalúrgica.
Módulo 4: Biomineralización	ID ₄ : Aplica mecanismos biológicos de precipitación y recuperación metálica desde soluciones lixiviadas.	RA ₄ : Evalúa procesos de biomineralización y biometalización aplicados a la recuperación de metales.

V. Contenido temático de la Asignatura

UNIDAD 1: BIOBENEFICIO

RA1: Explica fundamentos y aplicaciones del biobeneficio en el procesamiento de minerales.

Semana	Temas	RA	Estrategias metodológicas	Recursos	Logro de aprendizaje
1	Introducción a la biotecnología, clasificación. Aplicada a minerales y del biobeneficio	RA1.1: Identifica principios y aplicaciones de la biotecnología minera	Exposición dialogada y análisis de casos	Presentaciones, artículos científicos	Reconoce fundamentos de la biotecnología mineral
2	Microorganismos aplicados al biobeneficio de minerales	RA1.2: Diferencia microorganismos aplicados al procesamiento mineral	Clase taller y observación microscópica	Microscopio, separatas, muestras minerales	Identifica microorganismos metalúrgicos

3	Interacción mineral–microorganismo: bioadsorción y biooxidación	RA1.3: Explica mecanismos biológicos aplicados a minerales	Taller aplicado y resolución de problemas	Diagramas, laboratorio, papers	Explica mecanismos de interacción biológica
4	Aplicaciones del biobeneficio en minería y metalurgia	RA1.4: Evalúa aplicaciones del biobeneficio en procesos metalúrgicos	Debate técnico y análisis industrial	Videos técnicos y artículos científicos	Evalúa aplicaciones del biobeneficio

UNIDAD 2: BIOLIXIVIACIÓN

RA2: Analiza procesos de biolixiviación considerando parámetros microbiológicos y metalúrgicos.

Semana	Temas	RA	Estrategias metodológicas	Recursos	Logro de aprendizaje
5	Fundamentos de biolixiviación de minerales	RA2.1: Explica mecanismos biohidrometalúrgicos	Exposición dialogada	Presentaciones y separatas	Reconoce fundamentos de biolixiviación
6	Bacterias ferrooxidantes y sulfurooxidantes	RA2.2: Identifica microorganismos lixiviantes	Taller práctico y laboratorio	Microscopio, medios de cultivo	Identifica bacterias de biolixiviación
7	Variables operacionales: pH, Eh, temperatura y oxígeno	RA2.3: Analiza parámetros operacionales	Resolución de ejercicios y laboratorio	pH-metro, ORP, reactores	Controla variables operacionales
8	Biolixiviación de cobre, oro y plata	RA2.4: Evalúa recuperación metálica biológica	Análisis de casos y taller aplicado	Casos industriales y software	Evalúa procesos de recuperación biológica

UNIDAD 3: BIORREMEDIACIÓN

RA3: Diseña alternativas de biorremediación aplicadas a contaminación minera.

Semana	Temas	RA	Estrategias metodológicas	Recursos	Logro de aprendizaje
9	Drenaje ácido de mina y contaminación minera	RA3.1: Explica procesos de contaminación minera	Exposición dialogada y debate	Diagramas y artículos científicos	Explica generación de DAM
10	Bacterias sulfato reductoras y precipitación biológica	RA3.2: Evalúa mecanismos biológicos de remediación	Laboratorio experimental	Medio Postgate y reactivos	Evalúa precipitación biológica
11	Biosorción y bioacumulación de metales pesados	RA3.3: Analiza remoción biológica de metales	Taller práctico y resolución de problemas	Biomasa y soluciones metálicas	Analiza procesos de biosorción
12	Tratamiento biológico de efluentes mineros	RA3.4: Diseña estrategias de remediación minera	Estudio de casos y exposición grupal	Casos industriales y videos	Diseña tratamientos biológicos

UNIDAD 4: BIOMINERALIZACIÓN

RA4: Evalúa procesos de biomineralización y biometalización aplicados a recuperación metálica.

Semana	Temas	RA	Estrategias metodológicas	Recursos	Logro de aprendizaje
--------	-------	----	---------------------------	----------	----------------------

13	Biom mineralización de minerales metálicos	RA4.1: Explica precipitación biológica de minerales	Exposición técnica y análisis de casos	Artículos científicos y diagramas	Explica biom mineralización metálica
14	Biometalización de cobre desde soluciones lixiviadas	RA4.2: Evalúa recuperación biológica de cobre metálico	Taller experimental y laboratorio	Reactores biológicos y soluciones lixiviadas	Evalúa biometalización de cobre
15	Activación de consorcios bacterianos y medios de cultivo	RA4.3: Diseña medios de cultivo y adaptación bacteriana	Laboratorio aplicado	Medios nutritivos y material microbiológico	Diseña sistemas biológicos adaptativos
16	Proyecto aplicado de biom mineralización y biometalización	RA4.4: Sustenta propuesta experimental biotecnológica	Exposición técnica y evaluación grupal	Informes técnicos y multimedia	Sustenta proyecto biotecnológico aplicado

VI. Evaluación

RESULTADOS DE APRENDIZAJE	EVIDENCIAS O PRODUCTO DE APRENDIZAJE	PESOS (%)
RA1: Explica fundamentos y aplicaciones del biobeneficio en el procesamiento de minerales.	Informe técnico sobre aplicaciones del biobeneficio en minería y metalurgia.	5
	Identificación y clasificación de microorganismos metalúrgicos.	5
	Desarrollo de prácticas de interacción mineral–microorganismo.	5
	Informe experimental del módulo de biobeneficio.	5
RA2: Analiza procesos de biolixiviación de minerales sulfurados y oxidados considerando parámetros microbiológicos y metalúrgicos.	Reporte experimental de biolixiviación de cobre u otros metales.	6
	Evaluación de variables operacionales (pH, Eh, temperatura y oxígeno).	6
	Análisis e interpretación de resultados metalúrgicos y microbiológicos.	6
	Informe técnico del módulo de biolixiviación con tablas y gráficos.	7
RA3: Diseña alternativas de biorremediación aplicadas al control de contaminación minera y metalúrgica.	Diseño de propuesta de biorremediación de efluentes mineros.	6
	Evaluación de biosorción y bioacumulación de metales pesados.	6
	Desarrollo de prácticas de precipitación biológica mediante bacterias sulfato reductoras.	6
	Informe técnico del módulo de biorremediación.	7
RA4: Evalúa procesos de biom mineralización y biometalización aplicados a la recuperación de metales.	Diseño experimental de biom mineralización y biometalización.	7
	Activación y adaptación de consorcios bacterianos.	7
	Presentación técnica del proyecto aplicado.	8
	Sustentación técnica del proyecto biotecnológico.	8
TOTAL		100
INDICADORES GENERALES		
a) Trabajo técnico–científico fundamentado en bibliografía actualizada y pertinente. b) Aplicación rigurosa del método científico y herramientas estadísticas. c) Expresión crítica, argumentativa y coherente en informes y exposiciones. d) Integración metodológica con enfoque ético, profesional y sostenible. e) Cumplimiento del Reglamento de Investigación y Grados vigente.		
Consideraciones adicionales		

- ✓ Evaluación continua y formativa.
- ✓ El 30% de inasistencia inhabilita al estudiante.
- ✓ Se emplearán rúbricas con niveles de logro: **Inicio – En proceso – Logrado – Destacado.**
- ✓ Cada evidencia será retroalimentada para mejora progresiva del informe final.

VII. Bibliografía

Bibliografía básica

- Acevedo, F. (2002). Bioleaching and bioprocessing of mineral resources. Elsevier Science.
- Bosecker, K. (1997). Bioleaching: Metal solubilization by microorganisms. *FEMS Microbiology Reviews*, 20(3–4), 591–604. [https://doi.org/10.1016/S0168-6445\(97\)00036-3](https://doi.org/10.1016/S0168-6445(97)00036-3)
- Ehrlich, H. (2002). Geomicrobiology. Marcel Dekker.
- Olson, G. et al. (2003). Biohydrometallurgy Fundamentals. SME.
- Rawlings, D. E., & Johnson, D. B. (2007). The microbiology of biomining: Development and optimization of mineral-oxidizing microbial consortia. *Microbiology*, 153(2), 315–324. <https://doi.org/10.1099/mic.0.2006/001206-0>
- Rawlings, D. E., & Johnson, D. B. (Eds.). (2007). Biomining. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-34911-2>.

Bibliografía complementaria

- Dopson, M., & Johnson, D. B. (2012). Biodiversity, metabolism and applications of acidophilic sulfur-metabolizing microorganisms. *FEMS Microbiology Reviews*, 36(2), 262–290. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2011.00275.x>
- Johnson, D. B. (2014). Biomining—Biotechnologies for extracting and recovering metals from ores and waste materials. *Current Opinion in Biotechnology*, 30, 24–31. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2014.04.008>
- Rohwerder, T., & Sand, W. (2007). Mechanisms and biochemical fundamentals of bacterial metal sulfide oxidation. *FEMS Microbiology Reviews*, 31(3), 306–331. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2007.00070.x>
- Sand, W., Gehrke, T., Jozsa, P. G., & Schippers, A. (2001). (Bio)chemistry of bacterial leaching Direct vs. indirect bioleaching. *Hydrometallurgy*, 59(2–3), 159–175. [https://doi.org/10.1016/S0304-386X\(00\)00180-8](https://doi.org/10.1016/S0304-386X(00)00180-8)
- Schippers, A., Hedrich, S., Vasters, J., Drobe, M., Sand, W., & Willscher, S. (2013). Biomining and bioremediation. En *Geobiotechnology I* (pp. 1–27). Springer. https://doi.org/10.1007/10_2013_216
- Vera, M., Schippers, A., & Sand, W. (2013). Progress in bioleaching: Fundamentals and mechanisms of bacterial metal sulfide oxidation—Part A. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 97(17), 7529–7541. <https://doi.org/10.1007/s00253-013-4954-2>
- Watling, H. R. (2006). The bioleaching of sulphide minerals with emphasis on copper sulphides A review. *Hydrometallurgy*, 84(1–2), 81–108. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2006.05.001>

VIII. Programa de actividades**UNIDAD 1: BIOBENEFICIO****RA1:** Explica fundamentos y aplicaciones del biobeneficio en el procesamiento de minerales.

Sesión	Semana	Fecha	Hora	Contenido	Actividad de aprendizaje	Docente	Logros de aprendizaje esperados
1	1	03/04/2026	13:00 – 15:15	Introducción a la biotecnología aplicada a minerales	Exposición dialogada y análisis de casos	Jorge Martin Ramírez Nicho	Reconoce aplicaciones de la biotecnología en minería
2	2	10/04/2026	13:00 – 15:15	Microorganismos aplicados al biobeneficio de minerales	Taller y observación microscópica	Jorge Martin Ramírez Nicho	Identifica microorganismos metalúrgicos
3	3	17/04/2026	13:00 – 15:15	Interacción mineral– microorganismo: bioadsorción y biooxidación	Resolución de problemas y laboratorio	Jorge Martin Ramírez Nicho	Explica mecanismos biológicos aplicados a minerales
4	4	24/04/2026	13:00 – 15:15	Aplicaciones del biobeneficio en minería y metalurgia	Debate técnico y análisis industrial	Jorge Martin Ramírez Nicho	Evalúa aplicaciones del biobeneficio

UNIDAD 2: BIOLIXIVIACIÓN**RA2:** Analiza procesos de biolixiviación considerando parámetros microbiológicos y metalúrgicos.

Sesión	Semana	Fecha	Hora	Contenido	Actividad de aprendizaje	Docente	Logros de aprendizaje esperados
5	5	01/05/2026	10:15 – 12:15	Fundamentos de biolixiviación de minerales	Exposición dialogada y discusión guiada	Jorge Martin Ramírez Nicho	Reconoce fundamentos bio hidrometalúrgicos
6	6	08/05/2026	10:15 – 12:15	Bacterias ferrooxidantes y sulfurooxidantes	Laboratorio microbiológico	Jorge Martin Ramírez Nicho	Identifica bacterias lixiviantes
7	7	15/05/2026	10:15 – 12:15	Variables operacionales: pH, Eh, temperatura y oxígeno	Taller experimental y control de variables	Jorge Martin Ramírez Nicho	Controla parámetros operacionales
8	8	22/05/2026	10:15 – 12:15	Biolixiviación de cobre, oro y plata	Taller aplicado y análisis de resultados	Jorge Martin Ramírez Nicho	Evalúa recuperación metálica biológica

UNIDAD 3: BIORREMEDIACIÓN**RA3:** Diseña alternativas de biorremediación aplicadas a contaminación minera.

Sesión	Semana	Fecha	Hora	Contenido	Actividad de aprendizaje	Docente	Logros de aprendizaje esperados
9	9	29/05/2026	10:15 – 12:15	Drenaje ácido de mina y contaminación minera	Exposición dialogada y análisis ambiental	Jorge Martin Ramírez Nicho	Explica generación de drenaje ácido

10	10	05/06/2026	10:15 – 12:15	Bacterias sulfato reductoras y precipitación biológica	Laboratorio experimental	Jorge Martin Ramírez Nicho	Evalúa precipitación biológica
11	11	12/06/2026	10:15 – 12:15	Biosorción y bioacumulación de metales pesados	Taller práctico y resolución de casos	Jorge Martin Ramírez Nicho	Analiza remoción biológica de metales
12	12	19/06/2026	10:15 – 12:15	Tratamiento biológico de efluentes mineros	Exposición grupal y estudio de casos	Jorge Martin Ramírez Nicho	Diseña alternativas de remediación

UNIDAD 4: BIOMINERALIZACIÓN

RA4: Evalúa procesos de biomineralización y biometalización aplicados a recuperación metálica.

Sesión	Semana	Fecha	Hora	Contenido	Actividad de aprendizaje	Docente	Logros de aprendizaje esperados
13	13	26/06/2026	10:15 – 12:15	Biomineralización de minerales metálicos	Exposición técnica y análisis científico	Jorge Martin Ramírez Nicho	Explica precipitación biológica metálica
14	14	03/07/2026	10:15 – 12:15	Biometalización de cobre desde soluciones lixiviadas	Laboratorio aplicado y evaluación experimental	Jorge Martin Ramírez Nicho	Evalúa recuperación biológica de cobre
15	15	10/07/2026	10:15 – 12:15	Activación de consorcios bacterianos y medios de cultivo	Práctica microbiológica	Jorge Martin Ramírez Nicho	Diseña medios de cultivo y adaptación bacteriana
16	16	17/07/2026	10:15 – 12:15	Proyecto aplicado de biomineralización y biometalización	Sustentación técnica del proyecto	Jorge Martin Ramírez Nicho	Sustenta propuesta biotecnológica aplicada

NOTA: Fechas ajustadas para iniciar el **03/04/2026** (viernes) y cada sesión semanal a las **10:15 – 12:15 p.m.**