



PLAN 2011

BIORREMEDIACIÓN

CARRERA: LICENCIATURA EN BIOTECNOLOGÍA

I. IDENTIFICACIÓN

- | | |
|-----------------------------|-------------------------------------|
| 1. Código | : 37B |
| 2. Horas Semanales de Clase | : 6 |
| 2.1. Teóricas | : 3 |
| 2.2. Prácticas | : 3 |
| 3. Créditos | : 4 |
| 4. Pre-Requisito | : Bioseguridad, Ética y Legislación |

II. JUSTIFICACIÓN

De manera que el estudiante conozca las diferentes técnicas para mejorar ambientes naturales que han sufrido algún tipo de contaminación o perturbación, se utilizarán diversas metodologías para la transmisión de los conocimientos básicos en el uso de los procesos biológicos como herramienta para la eliminación, detoxificación o transformación de contaminantes orgánicos e inorgánicos en sustancias inocuas.

Se abordarán desde un enfoque biotecnológico las distintas técnicas de descontaminación de suelos, aguas y del aire en función de la composición, y la utilización del vertido como una forma de valoración de los residuos.

III. OBJETIVOS

- Obtener los conocimientos teóricos y prácticos de las técnicas con organismos vivos para la solución de problemas relacionados con la contaminación ambiental.
- Comprender los principios biofísicoquímicos implicados en los procesos de biorremediación.
- Reconocer la importancia de los microorganismos en la biorremediación y la conservación del ambiente.
- Adquirir los conocimientos en el uso de las diferentes técnicas de biorremediación.
- Evaluar tecnologías de tratamiento de aguas y suelos contaminados en las cuales se aplica biorremediación.
- Comprender las técnicas de biología molecular seguidas para modificar microorganismos utilizados en biorremediación del ambiente.
- Adquirir y aplicar fundamentos científicos de las metodologías de los procesos biológicos que pueden usarse en la remediación ambiental para mitigar la contaminación ambiental en el Paraguay.



IV. CONTENIDOS

A. UNIDADES PROGRAMÁTICAS

1. Biorremediación. Generalidades.
2. Características del agua y contaminación.
3. Conceptos biogeoquímicos esenciales para procesos de biorremediación.
4. Procesos que intervienen en la biorremediación.
5. Fitorremediación.
6. Ficorremediación.
7. Micorremediación.
8. El suelo como depurador.
9. Biotecnología y ambiente.

B. DESARROLLO DE LAS UNIDADES PROGRAMÁTICAS

1. Biorremediación. Generalidades.

- 1.1. Desarrollo histórico.
- 1.2. Clasificación.
- 1.3. Ventajas y desventajas de las tecnologías de biorremediación.
- 1.4. Factores que influyen en la biorremediación.
- 1.5. Técnicas de biorremediación.
 - 1.5.1. Técnicas *ex situ*.
 - 1.5.2. Técnicas *in situ*.

2. Características del agua y contaminación.

- 2.1. Tipos de contaminantes del agua.
 - 2.1.1. Indicadores físicos de contaminación.
 - 2.1.2. Indicadores químicos de contaminación.
 - 2.1.3. Indicadores biológicos de contaminación.
- 2.2. Las aguas residuales.
 - 2.2.1. Aguas residuales urbanas.
 - 2.2.1.1. Origen. Excretas. Residuos domésticos.
 - 2.2.1.2. Composición química y biológica de las aguas residuales urbanas.
 - 2.2.2. Aguas residuales industriales.
 - 2.2.2.1. Tipos de aguas residuales industriales.
 - 2.2.2.2. Composición de las aguas residuales industriales.
 - 2.2.2.3. Normativa de vertidos de aguas residuales.
 - 2.2.2.4. Toma de muestras de aguas residuales.
 - 2.2.3. Tratamiento de aguas residuales.
 - 2.2.3.1. Tratamiento por métodos convencionales.
 - 2.2.3.2. Tratamiento por métodos no convencionales.

3. Conceptos biogeoquímicos esenciales para procesos de biorremediación.

- 3.1. Características del suelo.
 - 3.1.1. Edafogénesis.



- 3.1.2. Perfil del suelo.
- 3.1.3. Ciclos biogeoquímicos.
- 3.1.4. Propiedades físicas del suelo: textura, estructura, porosidad y permeabilidad.
- 3.1.5. Propiedades químicas del suelo: pH, oxido-reducción, intercambio iónico, salinidad. Transformaciones de la materia orgánica. El humus. Acciones de la fauna y la flora. Acciones de las enzimas.
- 3.2. Fase líquida en el suelo. Potenciales. Tasas de humedad. Dinámica del agua en medio saturado y no saturado. Infiltración. Redistribución. Evapotranspiración.
- 3.3. Degradación y contaminación del suelo.
 - 3.3.1. Procesos erosivos.
 - 3.3.2. Desertificación y aridez.
 - 3.3.3. Principales contaminantes del suelo.
 - 3.3.3.1. Fertilizantes.
 - 3.3.3.2. Residuos de origen animal.
 - 3.3.3.3. Valores normales y anormales de metales en suelos.
 - 3.3.3.4. Lodos de depuradoras.
 - 3.3.3.5. Aguas residuales.
 - 3.3.3.6. Contaminantes atmosféricos.
- 4. Procesos que intervienen en la biorremediación.**
 - 4.1. Interacciones microbianas.
 - 4.2. Adaptación, aclimatación y bioacumulación.
 - 4.3. Potencial metabólico microbiano como base para la biorremediación y la fitorremediación.
 - 4.3.1. Tipos de metabolismo microbiano involucrados en biorremediación.
 - 4.3.2. Necesidades nutricionales de los microorganismos.
 - 4.3.3. Remediación de ambientes microbianos vía bioestimulación.
 - 4.4. Biolixiviación
 - 4.5. Importancia de los factores fisicoquímicos en la biorremediación de ambientes contaminados.
 - 4.6. Sorción y biosorción.
 - 4.7. Microbiología de la rizósfera.
 - 4.8. Mecanismos de biorremediación de metales pesados.
 - 4.9. Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas.
- 5. Fitorremediación.**
 - 5.1. Generalidades.
 - 5.2. Ventajas y desventajas.
 - 5.3. Procesos fisiológicos implicados en fitorremediación.



-
- 5.3.1. Captura de contaminantes.
 - 5.3.2. Destino del contaminante en la planta.
 - 5.4. Mecanismos de fitorremediación.
 - 5.4.1. Fitoestabilización.
 - 5.4.2. Fitodegradación.
 - 5.4.3. Fitoextracción.
 - 5.4.4. Fitovolatilización.
 - 5.4.5. Rizodegradación.
 - 5.4.6. Fitoimmobilización
 - 5.5. Biorremediación por humedales.
 - 5.5.1. Características ecológicas de los humedales.
 - 5.5.2. Características hidrológicas de los humedales.
 - 5.5.3. Microorganismos de los humedales.
 - 5.5.4. Clasificación de las aguas según su calidad. Niveles saprobios.
 - 5.5.4.1. Organismos indicadores de la calidad según los niveles saprobios.
 - 5.5.4.2. Otros organismos presentes en humedales.
 - 5.5.5. Vegetación de los humedales.
 - 5.5.6. Humedales artificiales.
 - 5.5.6.1. Procesos fisicoquímicos y biológicos en la remoción de contaminantes.
 - 5.5.6.2. Características generales.
 - 5.5.6.3. Bases generales. Factores de asimilabilidad.
 - 5.5.6.4. Plantas hiperacumuladoras de metales.
 - 5.5.6.5. Transporte y movimiento de los metales hacia las raíces.
 - 5.5.6.6. Procesos de retención. Sorción, precipitación y disolución de metales. Complejos. Transformación y metilación de metales por los organismos del humedal. Eficacia.
 - 5.5.6.7. Cálculo de la capacidad de eliminación de metales.
 - 5.5.6.8. Tipos de humedales artificiales.
 - 5.5.6.8.1. Humedales de flujo superficial.
 - 5.5.6.8.2. Humedales de flujo sub-superficial.
 - 5.5.6.8.3. Sistemas con macrófitas en flotación.
 - 5.5.6.8.4. Sistemas con macrófitas sumergidas.
 - 5.5.6.9. Vegetación de los humedales artificiales.
 - 5.5.6.9.1. Selección de la vegetación para humedales artificiales.
 - 5.5.6.9.2. Especies recomendables. Implantación de la vegetación en humedales artificiales.
 - 5.5.6.9.3. Factores condicionantes:



- emplazamiento, climatología y nutrientes.
- 5.5.6.9.4. Parámetros básicos de diseño de humedales artificiales.
- 5.5.6.9.5. Tipos y diseño de humedales artificiales.
- 5.5.6.9.6. Uso de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales urbanas e industriales.
 - 5.5.6.9.6.1. Tratamientos previos.
 - 5.5.6.9.6.2. Tratamientos convencionales.
 - 5.5.6.9.6.3. Tratamiento previo y tratamiento en humedales artificiales.
 - 5.5.6.9.6.4. Tratamiento terciario con humedal artificial.
- 5.6. Filtros verdes.
 - 5.6.1. Infiltración de baja carga.
 - 5.6.2. Características. Ventajas y desventajas.
 - 5.6.3. Selección del cultivo.
 - 5.6.4. Diseño y Aplicaciones.
- 6. Fitorremediación.**
 - 6.1. Microorganismos fotosintéticos y aguas residuales.
 - 6.2. Consorcios microbianos.
 - 6.3. Organismos fotosintéticos utilizados en biorremediación.
 - 6.4. Criterios de selección y cultivo de microalgas y cianobacterias.
 - 6.5. Tratamiento secundario y terciario de efluentes.
 - 6.6. Aplicaciones prácticas.
- 7. Micorremediación.**
 - 7.1. Características de los hongos.
 - 7.2. Ventajas y desventajas del uso de hongos.
 - 7.3. Principales géneros fúngicos utilizados en biorremediación.
 - 7.4. Metabolismo de hongos en la degradación de compuestos orgánicos.
 - 7.5. Micorremediación con micorrizas.
 - 7.6. Degradación de plaguicidas, insecticidas y organoclorados.
 - 7.7. Remoción de metales.
 - 7.8. Casos prácticos.
- 8. El suelo como depurador**
 - 8.1. Técnicas de biorremediación de suelos contaminados.
 - 8.1.1. Tratamientos *in situ*: Bioestimulación. Atenuación natural. Bioventilación.
 - 8.1.1.1. Parámetros de diseño. Parámetros de monitoreo y

seguimiento natural de remediación del suelo.
Bioaumentación. Fitoenmienda.

8.1.2. Tratamientos *ex situ*.

8.1.2.1. Biorremediación de fase líquida.

8.1.2.2. Biorremediación de fase sólida: Compostaje.
Biopilas. *Landfarming*.

8.2. Acción de restauración de ambientes contaminados con hidrocarburos aromáticos.

8.3. Biorremediación *in situ* de ambientes contaminados con hidrocarburos.

8.4. Biorremediación de ambientes impactados con polietileno.

8.5. Biorremediación de suelos y aguas subterráneas impactadas con tóxicos ambientales.

8.5.1. Confinamiento.

8.5.2. Tratamientos *in situ* y *ex situ*.

8.5.3. Fitorremediación de metales pesados.

9. Biotecnología y ambiente.

9.1. Aplicaciones de la biotecnología en la resolución de problemas a escala ecosistémica.

9.2. Degradación enzimática en biorremediación.

9.3. Ventajas y desventajas del uso de organismos modificados genéticamente en biorremediación.

9.4. Aplicación de cepas bacterianas modificadas genéticamente.

9.4.1. Remoción de compuestos xenobióticos e hidrocarburos.

9.4.2. Remoción de metales pesados.

9.5. Plantas modificadas genéticamente utilizadas en biorremediación.

9.5.1. Remoción de contaminantes orgánicos.

9.5.2. Remoción de metales.

9.5.3. Mecanismos de remoción del mercurio y arsénico.

9.6. Estudio de casos de biorremediación aplicada a desastres ambientales.

9.7. Perspectivas y retos para la biorremediación.

C. OBJETIVOS PEDAGÓGICOS POR UNIDAD

Al finalizar el estudio y la práctica de la Unidad 1 “Biorremediación. Generalidades”, el estudiante será capaz de:

- Describir el desarrollo histórico de la biorremediación.
- Diferenciar los tipos de estrategias de biorremediación existentes.
- Caracterizar las ventajas y desventajas de las tecnologías de biorremediación.
- Diferenciar las dos técnicas utilizadas en biorremediación.

Al finalizar el estudio y la práctica de la Unidad 2 “Características del agua y contaminación”, el estudiante será capaz de:

- Describir las características del agua y los tipos de contaminación.

-
- Diferenciar los distintos tipos de indicadores de contaminación.
 - Describir los tipos de aguas residuales.
 - Caracterizar los diferentes tipos de tratamientos de las aguas residuales.

Al finalizar el estudio y la práctica de la Unidad 3 “Conceptos biogeoquímicos esenciales para procesos de biorremediación”, el estudiante será capaz de:

- Conocer los conceptos biogeoquímicos implicados en los procesos de biorremediación.
- Describir las características del suelo.
- Caracterizar la fase líquida en el suelo.
- Describir los procesos de degradación y contaminación del suelo.
- Diferenciar los principales contaminantes del suelo.

Al finalizar el estudio y la práctica de la Unidad 4 “Procesos que intervienen en la biorremediación”, el estudiante será capaz de:

- Describir las interacciones microbianas.
- Diferenciar entre adaptación, aclimatación y bioacumulación.
- Reconocer potencial metabólico microbiano como base para la biorremediación.
- Conceptualizar la biolixiviación.
- Caracterizar la importancia de los factores fisicoquímico en la biorremediación.
- Diferenciar los procesos de sorción y biosorción.
- Ejemplificar los mecanismos de biorremediación de metales pesados.

Al finalizar el estudio y la práctica de la Unidad 5 “Fitorremediación”, el estudiante será capaz de:

- Caracterizar las ventajas y desventajas de la fitorremediación.
- Describir los procesos fisiológicos implicados en fitorremediación.
- Diferenciar los mecanismos de fitorremediación.
- Caracterizar la biorremediación por humedales y su importancia para el ambiente.
- Conocer los tipos de filtros verdes utilizados.
- Diferenciar las ventajas y desventajas en el caso de los filtros verdes.
- Describir el proceso para la selección del cultivo.
- Caracterizar el proceso de diseño de humedales artificiales y filtros verdes.

Al finalizar el estudio y la práctica de la Unidad 6 “Ficorremediación”, el estudiante será capaz de:

- Clasificar los microorganismos fotosintéticos y tipos de aguas residuales.
- Conocer los organismos fotosintéticos utilizados en biorremediación.



- Describir los criterios de selección y cultivo de microalgas.
- Diferenciar entre el tratamiento secundario y terciario de efluentes, mediante ficorremediación.

Al finalizar el estudio y la práctica de la Unidad 7 “Micorremediación”, el estudiante será capaz de:

- Describir las características de los hongos.
- Diferenciar las ventajas y desventajas del uso de hongos.
- Ejemplificar los procesos de micorremediación con micorrizas.
- Conocer las especies que degradan los plaguicidas, insecticidas, organoclorados y remoción de metales.

Al finalizar el estudio y práctica de la Unidad 8 “El suelo como depurador”, el estudiante será capaz de:

- Diferenciar los tratamientos utilizados en los procesos de biorremediación en suelos contaminados.
- Describir los procesos de biorremediación *in situ* de ambientes contaminados con hidrocarburos y polietilenos.
- Conocer los tipos de biorremediación utilizados en suelos y aguas subterráneas impactadas con tóxicos ambientales.

Al finalizar el estudio y práctica de la Unidad 9 “Biotecnología y ambiente”, el estudiante será capaz de:

- Reconocer la importancia de la aplicación de la biotecnología en la resolución de problemas a escala ecosistémica.
- Diferenciar entre las ventajas y desventajas del uso de organismos obtenidos por ingeniería genética en la biorremediación.
- Conocer la aplicación en biorremediación de cepas bacterianas y plantas modificadas genéticamente.
- Adquirir destrezas en el planteamiento de soluciones a desastres ambientales.

V. METODOLOGÍA

La metodología formativa **incluirá:**

- Clases magistrales con soporte audiovisual.
- Presentación y discusión de artículos científicos relacionados con cada unidad del programa, donde se explicarán y analizarán los fundamentos del trabajo y los métodos moleculares empleados.
- Prácticas de laboratorio

VI. MEDIOS AUXILIARES

- Pizarra, marcadores y borrador.
- Textos básicos y de consulta.



- Publicaciones científicas.
- Cañón multimedia.
- Herramientas computacionales.

VII. ESTRATEGIAS DE ENSEÑANZA – APRENDIZAJE

Serán utilizadas estrategias didácticas consistentes en clases magistrales, clases prácticas y discusión de artículos científicos. Estimular y motivar al estudiante a la construcción de su propio aprendizaje es el objetivo educacional de todo el semestre.

VIII. EVALUACIÓN

Se evaluarán tanto los conocimientos teóricos adquiridos como la capacidad de relación entre los conocimientos teóricos y prácticos, además de la exposición de trabajos y seminarios individuales y/o colectivos y la capacidad para asimilar los conocimientos expuestos por estas vías. Para esta evaluación se realizarán pruebas presenciales y no presenciales, considerándose la participación del alumno en las actividades individuales on-line mediante la plataforma virtual.

La calificación de las evaluaciones parciales y finales se realizará de acuerdo al reglamento académico vigente de la FACEN.

IX. BIBLIOGRAFÍA

A. BÁSICA

- MARÍN, I., SANZ, J.L. & AMILS, R. 2014. *Biotecnología y medioambiente* 2da ed., Madrid: Ephemera, 376p.
- MARTÍ, M.A.C. 2007. *Principios de ecotoxicología: diagnóstico, tratamiento y gestión del medio ambiente*, Madrid: Editorial Tebar, 322p.
- METCALF & EDDY, INC. 1985. *Ingeniería sanitaria: tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales* 2da ed., Barcelona: Labor, 992p.
- RITTMANN, B.E. & MCCARTY, P.L. 2001. *Biotecnología del medio ambiente: principios y aplicaciones*, Madrid: McGraw Hill Interamericana, 760p.
- SÁNCHEZ YÁÑEZ, J.M. 2012. *Biorremediación. Estrategias Contra La Contaminación Ambiental*, Libros En Red, 232p.
- SEOÁNEZ CALVO, M. & GUTIÉRREZ DE OJESTO, A. 1999. *Aguas residuales: Tratamiento por humedales artificiales. Fundamentos científicos. Tecnologías. Diseño*, Madrid: Mundi-Prensa Libros, 325p.

B. COMPLEMENTARIA

- ALEXANDER, M. 1999. *Biodegradation and Bioremediation* 2nd ed., San Diego: Academic Press, 453p.
- ATLAS, R.M. & PHILP, J. 2005. *Bioremediation: Applied Microbial Solutions for Real-world Environmental Cleanup*, Washington, D.C.: ASM Press, 366p.
- CUMMINGS, S.P. ED. 2010. *Bioremediation: Methods and Protocols*, Totowa, NJ: Humana Press, 281p.
- LEVIN, M.A. & GEALT, M.A. 1997. *Biotratamiento de residuos tóxicos y peligrosos*, Madrid: McGraw-Hill / Interamericana de España, S.A., 352p.