

PROGRAMA de Biorremediación

Carrera: Tecnicatura Universitaria en Tecnología Ambiental y Petroquímica

Asignatura: Biorremediación

Núcleo al que pertenece: Complementario

Profesoras: Claudia Britos, Estefanía Achilli, Valeria Cappa

Asignaturas previas necesarias para favorecer el aprendizaje:
Microbiología ambiental

Objetivos:

Que las/os estudiantes comprendan los parámetros importantes en el desarrollo de procesos de depuración de efluentes y tratamiento de sitios contaminados por medios biológicos.

Que puedan inferir las mejores estrategias integrales de tratamiento en función del tipo de contaminante y la ubicación de la contaminación.

Que pueda analizar el impacto social y cultural de la contaminación y de las posibilidades de tratamiento.

Que diseñen estrategias experimentales sencillas para detección y tratamiento de aguas o suelos contaminados.

Que analicen los tratamientos de depuración y restauración desde un punto de vista integral, incorporando conceptos de utilización racional de recursos y aprovechamiento de materiales y energía.

Contenidos mínimos:

Mecanismos y alcances de la biorremediación. Organismos especializados: selección y mejoramiento. Implementación de cepas. Organismos depuradores: características generales. Uso de fuentes alternativas de carbono, nitrógeno y fósforo. Biosuplementación. Descargas de contaminantes en cuerpos de aguas. Eutrofización. Modelo de mínimo OD. Autodepuración y recuperación de cursos de aguas. Bioprocesos depurativos de aguas residuales de origen urbano, agrícola o industrial. Tecnologías de biodepuración: lodos activados y biopelículas. Biotecnologías de eliminación de nitrógeno y fósforo. Tratamientos anaeróbicos. Tratamientos fisicoquímicos convencionales y avanzados. Fitorremediación. Derrames industriales. Biotransformaciones de metales

pesados, hidrocarburos, compuestos halogenados, pesticidas y otros compuestos recalcitrantes. Mecanismos de descomposición abióticos y estrategias de degradación microbianas. Características de suelos. Distribución de contaminantes en suelos y biodisponibilidad. Tecnologías aplicadas al tratamiento *in situ* y *ex situ* de suelos. Bioindicadores y biomarcadores de contaminación. Muestreadores de campo y sondas. Monitoreo y control de efluentes y seguimiento de procesos de biorremediación.

Carga horaria semanal:

8 horas semanales distribuidas en dos encuentros de 4 horas

Programa analítico:

Unidad 1. *Historia de los procesos de biodepuración. Relación entre el desarrollo industrial y la generación de residuos. Catástrofes ecológicas que propiciaron la incorporación de técnicas de biorremediación.*

Unidad 2. *Conceptos generales de contaminación. Tipos de contaminación. Clasificación de contaminantes. Introducción a tratamientos de remediación de sitios contaminados: físicos, químicos y biológicos. Tratamientos in-situ, ex-situ: definiciones, ventajas y desventajas. Tecnologías de disposición final y de aislamiento físico y contención de sitios contaminados.*

Unidad 3. *Efecto de la incorporación de contaminantes en el ambiente: flujos de materia y energía. Conceptos básicos de biorremediación: transformaciones parciales de contaminantes, mineralización, cometabolismo, asociaciones sinérgicas en los procesos degradativos. Activación e inactivación. Ejemplos.*

Unidad 4. *Condiciones nutricionales y ambientales para procesos biodegradativos. Tipos de metabolismo: autótrofos, heterótrofos, aeróbico, anaeróbico, fermentativo. Efectos de la temperatura, pH y disponibilidad de nutrientes en el desarrollo de organismos degradadores. Humedad y actividad del agua.*

Unidad 5. *Sistemas acuáticos: solubilidad del oxígeno, zonas fóticas y estratificación térmica. Efecto en aguas estancas, ríos y océanos. Contaminación de aguas. Eutrofización. Tratamiento de aguas eutrofizadas. Wetlands artificiales.*

Unidad 6. *Análisis de contaminantes en aguas: metodologías analíticas, DBO, DQO, COT, nutrientes. Relación entre DQO, DBO y COT para analizar biodegradabilidad.*

Unidad 7. Contaminación de ríos: conceptos de recuperación, curva de DBO. Resolución de ejercicios y análisis de resultados.

Unidad 8. Tecnologías de tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales. Composición, características de generación (carga, caudal, periodicidad). Requerimientos de descarga. Esquema general de tratamiento. Comparación de tratamientos para efluentes industriales y domésticos.

Unidad 9. Pretratamiento y tratamiento primario de aguas residuales: rejas, desarenado, equalización, decantación. Adecuación de efluentes: ajustes de pH, agregado de coagulantes. Infraestructura utilizada, parámetros básicos de diseño y operación. Parámetros de control.

Unidad 10. Tratamiento secundario de aguas residuales. Tratamientos biológicos aeróbicos, anaeróbicos, con biomasa suspendidos e inmovilizada: comparación entre sistemas, condiciones óptimas de aplicación. Tratamiento aeróbico: estructura y composición de bioflocs, etapas en la biodegradación, parámetros de diseño y control. Tipos de reactores utilizados: mezcla completa, canales de oxidación, reactores discontinuos-secuenciales. Sistemas de biomasa fija: filtros percoladores, discos rotatorios, biofiltros. Sistemas anaeróbicos de tratamiento secundario: UASB, EGSB, filtros anaeróbicos. Composición de la biomasa degradadora, parámetros de operación, generación de metano y reutilización.

Unidad 11. Tratamiento terciario de aguas residuales: eliminación de nitrógeno y fósforo. Estrategias químicas y biológicas. Estrategias combinadas. Estrategias de nitrificación/desnitrificación. Organismos acumuladores de fósforo. Bases biológicas de la eliminación. Sistemas de biomasa suspendida, fija, separada y combinada para eliminación conjunta de nitrógeno y fósforo. Parámetros importantes del proceso.

Unidad 12. Tratamientos avanzados para eliminación de compuestos persistentes: filtración, adsorción, intercambio iónico. Infraestructura. Desinfección: cloración, ozonización, radiación UV. Ventajas y limitaciones de cada técnica.

Unidad 13. Tratamiento biológico anaerobio de lodos. Digestores de una y dos etapas. Estabilización. Recuperación de metano. Deshidratación de lodos. Sistemas utilizados. Disposición final.

Unidad 14. Sistema suelos: estructura, funciones biológicas, formación, clasificación. Sustancias húmicas y complejo húmico-arcilloso. Caracterización de suelos: acidez, punto saturación, capacidad de intercambio. Interacción de

contaminantes con los suelos: metales pesados, compuestos orgánicos persistentes.

Unidad 15. *Tecnologías de tratamiento en suelos: landfarming, compostaje, bioventing, bioslurping. Parámetros importantes de cada proceso: aireación, balance de nutrientes, humedad, acidez, controles de emisiones y lixiviados. Infraestructura básica de cada tratamiento. Tratamientos in-situ, ex-situ y on-site. Disposición final de sólidos.*

Unidad 16. *Metales pesados: contaminación de suelos y aguas, sistemas de tratamientos fisicoquímicos y biológicos. Biosorción, bioprecipitación, complejación, transformación redox, biolixiviación. Ejemplos.*

Unidad 17. *Hidrocarburos y compuestos relacionados: estructura química, características fisicoquímicas, análisis de biodegradabilidad. Rutas de biodegradación de HC, BTEX, PHA. Degradación aeróbica, anaeróbica y estrategias combinadas. Estrategias de contención y tratamiento in-situ y ex-situ. Tecnologías de tratamiento de aguas y suelos. Ejemplos.*

Actividades de laboratorio

TP N°1. *Caracterización de un agua residual.*

Objetivo- Determinar parámetros cuantitativos y descriptivos de aguas residuales. Determinar el contenido en materia biodegradable mediante la técnica de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO). Adquirir manejo del instrumental y las técnicas usuales de análisis.

Descripción- Sobre muestras de agua colectadas a tal fin de sitios contaminados seleccionados por los estudiantes, se caracterizará mediante medidas cuantitativas, como pH, Oxígeno disuelto y turbidimetría el estado general de cada muestra analizada. Se realizarán análisis cualitativos de coloración, presencia de precipitados, olor y presencia/ausencia de macroinvertebrados u otros organismos indicadores del estado ecológico del sitio de muestreo. Por último, se analizará el contenido en material biodegradable mediante una técnica estandarizada de DBO. Los resultados obtenidos se relacionarán con los demás parámetros obtenidos y se compararán entre las diferentes muestras estudiadas.

TP N°2. *Aislamiento e identificación de microorganismos presentes en aguas contaminadas.*

Objetivo- Aislar e identificar microorganismos de muestras de aguas. Adquirir destreza en el manejo de técnicas de microbiología. Obtener cultivos puros de microorganismos de interés ambiental. Relacionar distribución de microorganismos con parámetros fisicoquímicos y bioquímicos del agua.

Descripción- Se realizarán cultivos por extensión en medios ricos de muestras de agua (procedentes de cuerpos de agua contaminados o deteriorados, o de efluentes) colectadas a tal fin, para permitir el crecimiento de todos los organismos presentes. Luego de un análisis de las diferentes morfologías obtenidas se realizarán subcultivos en medios de selección (EMB, SS, Mc Conkey, Cetrimide, Baird Parker, HyL, entre otros) y se realizarán determinaciones bioquímicas de actividad catalasa y oxidasa. Por último, se realizarán tinciones diferenciales (Gram, esporas, entre otros) y observación por microscopía, y se analizarán en conjunto los resultados obtenidos. Se realizarán cultivos puros de los aislados para su mantenimiento en refrigeración para futuros usos.

TP N°3. - Humedales artificiales para la eliminación de N y P en aguas.

Objetivo- Diseñar y desarrollar un sistema fitoextractivo de tratamiento de aguas eutrofizadas. Determinar los parámetros de funcionamiento, realizar cálculos de rendimiento y eficiencia de remoción. Realizar determinaciones analíticas de cuantificación de especies del nitrógeno y fósforo. Analizar evolución del tratamiento.

Descripción- Se diseñará un sistema en escala laboratorio (5 L) de tratamiento de aguas utilizando plantas acuáticas, macrófitas u otras capaces de tolerar condiciones de saturación. Se estudiarán diferentes parámetros importantes en el sistema (batch vs continuo, flujo de circulación, concentración de contaminantes, tipo de planta, sistemas flotantes y empacados up-flow/down-flow, aireación, microbiota rizosférica) definidos de acuerdo al material disponible y a la búsqueda y análisis bibliográfico realizado a tal fin. Se realizarán cinéticas de remoción de nitratos, nitritos, amonio y fosfatos de una muestra de agua eutrofizada artificial y se determinará la evolución del pH, oxígeno disuelto y turbidez durante el tratamiento. Se aplicarán técnicas analíticas de cuantificación de las especies contaminantes y se realizarán cálculos de eficiencia de remoción y rendimiento, y cálculos introductorios de escalado del sistema en estudio.

TP N°4. - Desarrollo de biosorbentes para eliminación de metales pesados.

Objetivo- Comparar la capacidad de biosorción de metales pesados de materiales de desecho. Estudiar los parámetros importantes del proceso de sorción y analizar la recuperación del metal y reuso del material biosorbente. Realizar ensayos en escala.

Descripción- Se estudiará la biosorción de dos especies de metales pesados como modelos, debido a sus características químicas representativas, cobre y cromo. Se estudiarán diferentes materiales que sean considerados desechos, como restos vegetales, materiales inorgánicos, desperdicios de diferentes industrias y desechos domésticos (como restos de café, yerba, o té luego de obtener infusiones). La selección se realizará en función de búsquedas bibliográficas y análisis de las características de cada material propuesto,

sumado a consideraciones de disponibilidad, usos alternativos posibles y capacidad de reingreso a cadena de valor. Se realizará una preselección de los materiales con mejores características y capacidades y se estudiará en ellos los parámetros importantes en el proceso en ensayos *batch* para cada metal: concentración del metal, pH, tiempo de contacto, masa de sorbente, temperatura y agitación. Con estos datos se calcularán capacidad de remoción y se determinarán tiempo de tratamiento y relación volumen de biosorbente/muestra a tratar. Se evaluará además posibles interacciones entre los metales en ensayos de biosorción sobre mezclas. Se realizarán determinaciones analíticas para cada metal estudiado mediante métodos espectrofotométricos y construcción de curvas de calibración. El/los mejores materiales se estudiarán en un sistema empacado de mayor escala (para tratamiento de 0,5 a 1L de agua) con recirculación. Por último, se evaluará la desorción de los metales para su recuperación y el reuso del biosorbente.

TP N°5. - *Degradación microbiana de hidrocarburos. Aplicación en aguas y suelos.*

Objetivo- Aislar microorganismos capaces de degradar hidrocarburos. Obtención de cultivos puros e identificación. Estudiar parámetros importantes en el proceso de degradación y evaluar el efecto de aditivos sobre la eficiencia. Realizar ensayos de degradación en muestras de suelos y aguas.

Descripción- Se obtendrán aislados microbianos con capacidad para degradar hidrocarburos (petróleo, diésel, lubricantes) a partir de muestras de aguas o suelos contaminados o de efluentes que posean en su constitución los contaminantes de interés. Se realizarán cultivos basados en medios ricos suplementados con los hidrocarburos, pasaje a medios minerales y subcultivos para acostumbramiento progresivo y adaptación. Se realizará una identificación de los microorganismos seleccionados. Una vez establecidos los cultivos aislados puros o consorcios desarrollados- según la muestra de origen- se estudiarán parámetros de la degradación, como concentración de hidrocarburo, cinética de crecimiento, temperatura óptima, adición de nutrientes y surfactantes- de acuerdo con la información bibliográfica disponible. Los aislados adaptados se ensayarán en medios líquidos y en suelos estériles contaminados artificialmente. Se estudiará el crecimiento por determinación de biomasa y pH, el consumo del sustrato y la presencia de compuestos intermediarios por técnicas sencillas de cromatografía.

TP N°6. - *Aislamiento de microorganismos degradadores de colorantes industriales y aplicación en tratamiento de aguas.*

Objetivo- Obtener microorganismos aislados o consorcios microbianos capaces de utilizar colorantes como fuente de carbono y energía. Determinar la cinética de degradación y optimizar los parámetros del proceso. Estabilizar los organismos degradadores por inmovilización y realizar ensayos de decoloración en columnas empacadas.

Descripción- Los microorganismos se seleccionarán a partir de muestras líquidas de aguas contaminadas o efluentes que posean colorantes en su composición. Se realizarán subcultivos en medios ricos suplementados con colorantes (representativos de los principales grupos, como azoico, sulfónico, triarilmetano, indigoide, u otros) y subcultivos en medios minerales que posean como única fuente de carbono a la molécula contaminante. Se determinarán los parámetros más importantes del proceso – en función del análisis de trabajos científicos publicados e información de procesos aplicados- como concentración de colorante, agregado de nutrientes, temperatura y aireación, y se realizarán cinéticas de degradación en condiciones optimizadas, donde se determinarán rendimiento en biomasa y eficiencia de degradación. Se realizará una caracterización del aislado consorcio con mayor eficiencia y se aplicarán técnicas de inmovilización por atrapamiento (en geles de agar o alginato) para aplicarlos en columnas empacadas (0,5-1L) con recirculación para estudiar el proceso en escala piloto.

Bibliografía (obligatoria y de consulta):

Ingeniería y Ciencias Ambientales. Mackenzie L. Davis. Ed. Mc Grow Hill (2006).

Ingeniería Ambiental. Fundamentos, sustentabilidad, diseño. Mihelcic. Zimmerman. Ed. Alfaomega (2012).

Environmental Biotechnology. Theory and application. Evans-Furlong. Ed. Wiley (2003).

Essentials of Ecology. Miller-Spoolman (2009).

Revisiones de revistas científicas (principales fuentes):

Applied Bioremediation- Active and passive approaches. IntechOpen.

Environmental Pollution. Elsevier.

International Biodeterioration & Biodegradation, Elsevier.

Chemosphere, Elsevier.

J. Hazardous Materials, Elsevier.

Biodegradation engineer and technology, IntechOpen.

Biological wastewater technology and resource recovery, IntechOpen.

La bibliografía que no se encuentra en la Biblioteca de la UNQ es suministrada por los docentes, ya sea porque se dispone de las versiones electrónicas y/o se dispone del ejemplar en el grupo de investigación asociado.

Organización de las clases:

La asignatura está estructurada en actividades teóricas, trabajos prácticos y trabajos de laboratorio. Se incluirán además discusiones en clase de trabajos científicos de revisión transversales al curso.

Los trabajos prácticos se realizarán en grupos de entre 4 y 6 integrantes. Salvo el TP 1, los demás serán diseñados durante la cursada a partir del análisis de trabajos científicos del tema, en función de consignas aportadas por el cuerpo docente de la asignatura.

Modalidad de evaluación:

El curso se organiza en 2 exámenes parciales y otras instancias de evaluación. Cada instancia parcial contemplará una fecha de recuperatorio.

Parcial 1: Unidades 1 a 6 inclusive (evaluación escrita individual), aporta 35 % de puntuación final.

Parcial 2: Unidades 8 a 15 inclusive (evaluación escrita individual), aporta 35 % de puntuación final.

Resolución ejercicios DBO (Unidad 7): Evaluación grupal resolución domiciliaria y explicación en clase, condición necesaria para aprobación del curso, no aporta a la nota final, pero es condición de aprobación. En caso de no asistir a la instancia se realizará la resolución de otro ejercicio similar en forma individual en fecha de recuperatorio del primer parcial.

Exposición TP final: Análisis de un problema concreto de contaminación con propuesta de remediación integral, la resolución se expone en el aula en forma grupal. Aporta 30 % de la nota final.

Evaluación desempeño en actividades prácticas: participación en discusiones de trabajos científicos o artículos, búsqueda de información, análisis de resultados experimentales, desempeño en el laboratorio. Se evalúa como MB, B o R, y se corresponderá con el redondeo de la nota final (MB redondeo hacia arriba, B no se redondea, R se redondea hacia abajo).

Aprobación de la asignatura según Régimen de Estudios vigente de la Universidad Nacional de Quilmes:

La aprobación de la materia bajo el régimen de regularidad requerirá: Una asistencia no inferior al 75 % en las clases presenciales previstas, y cumplir con al menos una de las siguientes posibilidades:

- (a) la obtención de un promedio mínimo de 7 puntos en las instancias parciales de evaluación y de un mínimo de 6 puntos en cada una de ellas.
- (b) la obtención de un mínimo de 4 puntos en cada instancia parcial de evaluación y en el examen integrador, el que será obligatorio en estos casos. Este examen se tomará dentro de los plazos del curso.

Los/as alumno/as que obtuvieron un mínimo de 4 puntos en cada una de las instancias parciales de evaluación y no hubieran aprobado el examen integrador mencionado en el Inc. b), deberán rendir un examen integrador, o en su reemplazo la estrategia de evaluación integradora final que el programa del

curso establezca, que el cuerpo docente administrará en los lapsos estipulados por la UNQ.

Modalidad de evaluación exámenes libres:

En la modalidad de libre, se evaluarán los contenidos de la asignatura con un examen escrito, un examen oral e instancias de evaluación similares a las realizadas en la modalidad presencial. Los contenidos a evaluar serán los especificados anteriormente incluyendo demostraciones teóricas, laboratorios y problemas de aplicación.

CRONOGRAMA TENTATIVO

| Semana | Tema/unidad | Actividad* | | | | Evaluación |
|--------|---|------------|-----------|------|-------------------|------------|
| | | Teórico | Práctico | | | |
| | | | Res Prob. | Lab. | Otros Especificar | |
| 1 | Unidad 1 y 2 | X | | | | |
| 2 | Unidad 3 y 4 | X | | | | |
| 3 | Unidad 5 y 6 | X | X | | | |
| 4 | Unidad 7 y TP 1 | X | X | X | | |
| 5 | TP 1 y Unidad 7 | | X | X | | |
| 6 | Parcial 1- Evaluación ejercicios DBO | | | | | X |
| 7 | Unidad 8 y 9 | X | | | | |
| 8 | Unidad 10- Propuesta experimental TP 2 a 5 | X | | | X | |
| 9 | Unidad 11 y 12- Propuesta experimental TP 2 a 5 | X | | | X | |
| 10 | Unidad 13 y 14- TP 2 inicio | X | | X | | |
| 11 | Unidad 15- TP 3 inicio | X | | X | | |
| 12 | Unidad 16- TP 4 y 5 inicio | X | | X | | |
| 13 | Parcial 2- TP 2 a 5 continuación | | | X | | X |
| 14 | Unidad 17- TP 2 a 5 continuación | X | | X | X | |
| 15 | TP 2 a 5 continuación | | | X | X | |
| 16 | TP 2 a 5 finalización y análisis de resultados | | | X | X | |
| 17 | Recuperatorios 1 y 2 | | | | | X |
| 18 | Exposición final | | | | | X |

Observaciones:

En Otras actividades se incluyen instancias de discusión de trabajos científicos relacionados con los temas de los trabajos prácticos y diseño de experimentos para cada uno.

Además, en la semana 15 se discutirán revisiones de revistas científicas de temas transversales, como degradación de pesticidas y biodisponibilidad de compuestos orgánicos en suelos.