

# **GUÍA DOCENTE DE LA ASIGNATURA:** **FITORREMEDIACIÓN**

## **1. Nombre de la asignatura**

Fitorremediación

## **2. Código de la asignatura**

## **3. Tipo de asignatura**

Libre Configuración Específica

## **4. Ciclo en que se imparte**

## **5. Curso en que se imparte**

## **6. Carácter anual o cuatrimestral**

Anual

## **7. Número de créditos**

Nueve créditos (4 créditos de teoría y 2 créditos de prácticas)

## **8. Prerrequisitos**

Sin prerrequisitos

## **9. Nombre del profesor/a responsable, área de conocimiento y Departamento**

Profesor D. Juan Manuel Ruiz Sáez  
Área de Conocimiento de Fisiología Vegetal  
Departamento de Fisiología Vegetal

## **10. Objetivos de la asignatura. Competencias y destrezas que deben ser desarrolladas**

En la asignatura de Fitorremediación se explicarán en detalle los siguientes aspectos:

- Clasificación de los elementos traza y compuestos químicos orgánicos según su importancia para la planta

- Estado de los elementos traza y compuestos químicos orgánicos en el suelo y estrategias de absorción de éstos por las plantas
- Absorción, distribución y toxicidad de elementos traza y compuestos químicos orgánicos en humanos, suelo y plantas
- Técnicas de descontaminación de elementos traza y compuestos químicos orgánicos utilizando plantas

## 11. Desarrollo en créditos ECTS

	Técnica	Actividad		A	B	C	D	E	Créditos ECTS
		Del Profesor	Del Alumno	Horas de Clase	Horas presenciales fuera del aula	Factor de trabajo del estudiante	Horas de trabajo personal del estudiante	Horas totales	
<b>Teoría</b>	Clase magistral	Explica los fundamentos teóricos	Asimila y toma apuntes. Plantea dudas y cuestiones complementarias	40	-	2	90	130	<b>5.2</b>
<b>Seminario</b>	Seminario sobre un tema de la asignatura	Presenta objetivos, orienta y tutoriza el trabajo	Trabaja en grupo. Presenta oralmente el trabajo	-	2	7	10	12	<b>0.48</b>
<b>Laboratorio</b>	Prácticas de laboratorio	Presenta los objetivos, orienta el trabajo y realiza el seguimiento	Experimenta y elabora una memoria	20	-	1	15	35	<b>1.4</b>
<b>Aula Informática</b>	Prácticas con modelos	Presenta los objetivos y colabora en la interpretación de los resultados	Realiza la simulaciones e interpreta los resultados	-	-	-	-	-	-
<b>Otras actividades</b>	Tutorías personalizadas	Orienta y resuelve dudas	Recibe orientación personalizada	-	5	-	-	5	<b>0.2</b>
	Búsquedas en la red	Indica la necesidad de ampliación	Busca elementos para completa la teoría	-	-	-	5	5	<b>0.2</b>
<b>Examen</b>					4			4	<b>0.16</b>
<b>TOTAL</b>				<b>60</b>	<b>11</b>	<b>10</b>	<b>120</b>	<b>191</b>	<b>7.64</b>

## **12. Contenidos (programa)**

### **PROGRAMA TEÓRICO**

#### **◆ Bloque I. Introducción a la Fitorremediación**

Tema 1. Aspectos generales de la Fitorremediación

1. Introducción: Antecedentes históricos
2. Principios básicos de la Fitorremediación
  - 2.1. Definición de Fitorremediación
  - 2.2. Tecnologías de la Fitorremediación
    - 2.2.1. Fitoestabilización de contaminantes inorgánicos y orgánicos
    - 2.2.2. Rizodegradación de contaminantes orgánicos
    - 2.2.3. Fitoacumulación de contaminantes inorgánicos
    - 2.2.4. Rizofiltración de contaminantes inorgánicos
    - 2.2.5. Fitodegradación de contaminantes orgánicos
    - 2.2.6. Fitovolatilización de contaminantes inorgánicos y orgánicos
  - 2.3. Selección de las plantas para su utilización en las fitotecnologías
  - 2.4. Ventajas y desventajas de la Fitorremediación
  - 2.5. Aplicación de la Fitorremediación

#### **◆ Bloque II. Fitorremediación de los Elementos Traza**

Tema 2. Aspectos generales de los elementos traza

1. Definición
2. Origen de los elementos traza
3. Toxicidad de los elementos traza
  - 3.1. Fitotoxicidad
  - 3.2. Toxicidad sobre la biología del suelo
  - 3.3. Toxicidad sobre los animales
  - 3.4. Toxicidad sobre los humanos
4. Remediación de los elementos traza
  - 4.1. Excavación y limpieza del suelo
    - 4.1.1. Lavado del suelo
    - 4.1.2. Tratamiento térmico
    - 4.1.3. Electrorremediación
  - 4.2. Almacenamiento del suelo
  - 4.3. Estabilización y compactación del suelo
  - 4.4. Técnicas biológicas
    - 4.4.1. Remediación microbiológica
    - 4.4.2. Remediación utilizando plantas. Fitorremediación

Tema 3. Fitoextracción de los Elementos Traza

1. Generalidades sobre la fitoextracción
2. Tipos de Fitoextracción
  - 2.1. Fitoextracción continua
    - 2.1.1. Plantas hiperacumuladoras
      - 2.1.1.1. Plantas hiperacumuladoras de Ni

- 2.1.1.2. Plantas hiperacumuladoras de Zn y Cd
- 2.1.1.3. Plantas hiperacumuladoras de Cu y Co
- 2.1.1.4. Plantas hiperacumuladoras de Pb
- 2.1.1.5. Plantas hiperacumuladoras de Se y As
- 2.1.2 Mecanismos biológicos de la hiperacumulación de elementos traza
  - 2.1.2.1. Exudados radiculares
  - 2.1.2.2. Absorción radicular
  - 2.1.2.3. Relación parte aérea-raíz
  - 2.1.2.4. Quelación del metal
  - 2.1.2.5. Compartimentalización
  - 2.1.2.6. Precipitación
- 2.1.3. Tolerancia e hiperacumulación
- 2.2. Fitoextracción inducida
  - 2.2.1. Fitoextracción inducida por aplicación de quelatos
  - 2.2.2. Fitoextracción inducida por la aplicación de acolchados
  - 2.2.3. Fitoextracción inducida por la aplicación de sulfato-amónico

#### Tema 4. Rizofiltración de Elementos Traza

- 1. Introducción
- 2. Rizofiltración
  - 2.1. Características de las plantas
  - 2.2. Diseño de la unidad de rizofiltración
  - 2.3. Ventajas y desventajas
  - 2.4. Eficiencia de la rizofiltración. Índices de medida
    - 2.4.1. Factor de bioconcentración
    - 2.4.2. Razón de concentración
    - 2.4.3. Índice de transporte
  - 2.5. Ejemplos de Rizofiltración
    - 2.5.1. Rizofiltración de metales pesados y metaloides
    - 2.5.2. Rizofiltración de radionucleótidos
- 3. Blastofiltración

#### Tema 5. Fitovolatilización de Elementos Traza

- 1. Fitovolatilización de Selenio (Se)
  - 1.1. Importancia medioambiental del Se
  - 1.2. Origen de la toxicidad de Se en el medioambiente
  - 1.3. Impacto del Se en la agricultura
  - 1.4. El Se en las plantas
    - 1.4.1. Asimilación del Se
    - 1.4.2. Fitotoxicidad del Se
    - 1.4.3. Tolerancia al Se
  - 1.5. Volatilización del Se por las plantas
    - 1.5.1. Mecanismos de volatilización del Se por las plantas
    - 1.5.2. Factores que afectan a la fitovolatilización del Se
      - 1.5.2.1. Especie vegetal
      - 1.5.2.2. Forma química del Se
      - 1.5.2.3. Presencia de otros iones
      - 1.5.2.4. Factores ambientales

- 1.6. Potencial práctico de la fitovolatilización del Se
2. Fitovolatilización del Mercurio (Hg)
  - 2.1. Origen y formas del Hg en el medioambiente
  - 2.2. Contaminación y efectos toxicos del Hg en el humano
  - 2.3. Fitorremediación del Hg

#### Tema 6. Fitoestabilización de los Elementos Traza

1. Aspectos generales de la fitoestabilización
2. Utilización de enmiendas agrícolas en la fitoestabilización
  - 2.1. Enmiendas basadas en la aplicación de fertilizantes fosfóricos
  - 2.2. Enmiendas basadas en la aplicación de hidroxidos de hierro
  - 2.3. Enmiendas basadas en la aplicación de materia orgánica
  - 2.4. Enmiendas basadas en la aplicación de minerales de origen arcilloso
  - 2.5. Enmiendas basadas en la aplicación de cal
3. Papel de las plantas en la fitoestabilización
4. Ventajas, desventajas y costes económicos de la fitoestabilización

#### ◆ Bloque III. Fitorremediación de los Contaminantes Orgánicos

#### Tema 7. Generalidades sobre los compuestos químicos orgánicos

1. Origen y clasificación de los compuestos químicos orgánicos
2. Factores que afectan a la disponibilidad de los compuestos químicos orgánicos
  - 2.1. Solubilidad
  - 2.2. Volatilización
  - 2.3. Fotólisis
  - 2.4. Adsorción
  - 2.5. Transformación
3. Efectos adversos de los compuestos químicos orgánicos
  - 3.1. Toxicidad sobre los humanos
  - 3.2. Toxicidad sobre los microorganismos
  - 3.3. Fitotoxicidad
4. Remediación de los contaminantes orgánicos

#### Tema 8. Fitorremediación *in planta* de los contaminantes orgánicos. Fitotransformación

1. Absorción radicular y transporte de los compuestos químicos orgánicos
2. Metabolismo de los compuestos químicos orgánicos en la parte aérea de las plantas
3. Selección de la especie vegetal para la fitotransformación

#### Tema 9. Fitorremediación *ex planta* de los contaminantes orgánicos. Fitoestabilización y Rizodegradación

1. Fitoestabilización de los contaminantes orgánicos
2. Rizodegradación de los contaminantes orgánicos

#### Tema 10. Fitorremediación del Tricloroetileno usando plantas

del g. *Populus*

1. Descripción del tricloroetileno (TCE)
2. Toxicidad del TCE
3. Descripción del g. *Populus*. Ventajas en la fitorremediación del TCE
4. Procesos de degradación del TCE por el g. *Populus*
  - 4.1. Fitorremediación *ex planta*. Rizodegradación
  - 4.2. Fitorremediación *in planta*. Fitotransformación del TCE

#### Tema 11. Fitorremediación del Petróleo y sus derivados

1. Tipos y comportamiento de los hidrocarburos del Petróleo
2. Técnicas de remediación de suelos contaminados por Petróleo
  - 2.1. Atenuación natural
  - 2.2. Técnicas civiles o de ingeniería
  - 2.3. Biorremediación
    - 2.3.1. Tipos de microorganismos
    - 2.3.2. Degradación de los hidrocarburos por los microorganismos
3. Fitorremediación de los hidrocarburos
  - 3.1. Fitorremediación *ex planta*. Rizodegradación
  - 3.2. Fitorremediación *in planta*. Fitotransformación
  - 3.3. Fitoacumulación
4. Factores limitantes de la fitorremediación de hidrocarburos
  - 4.1. Textura y contenido en materia orgánica
  - 4.2. Temperatura
  - 4.3. Nutrientes
5. Aplicación de la fitorremediación
6. Comparación entre los distintos métodos de remediación del Petróleo

#### Tema 12. Fitorremediación de Explosivos

1. Origen y tipos de explosivos
2. Toxicidad de los explosivos en humanos
3. Técnicas de remediación de explosivos
4. Fitorremediación de explosivos
  - 4.1. Fitotoxicidad de los explosivos
    - 4.1.1. Fitotoxicidad del trinitrotolueno (TNT)
    - 4.1.2. Fitotoxicidad de las Nitroaminas
    - 4.1.3. Fitotoxicidad de los Esteres de Nitratos
  - 4.2. Fitorremediación del TNT
  - 4.3. Fitorremediación de las Nitroaminas y de los Esteres de Nitratos

#### Tema 13. Fitorremediación de los Pesticidas

1. Aspectos generales de los Pesticidas
2. Principales opciones de remediación de los Pesticidas
  - 2.1. Incineración
  - 2.2. Biorremediación
3. Fitorremediación de los Pesticidas
  - 3.1. Fitotoxicidad

- 3.2. Tipos de fitorremediación
- 4. Fitotransformación: Papel del Glutathion (GSH)
  - 4.1. Biosíntesis y regulación del GSH
  - 4.2. Funciones fisiológicas del GSH
    - 4.2.1. El GSH y la detoxificación de herbicidas
- 5. Tolerancia a los pesticidas

## **PROGRAMA PRÁCTICO**

Práctica 1. Estudio comparativo de la resistencia de plantulas de girasol a la presencia de diversos metales pesados

Práctica 2. Estudio comparativo de la resistencia de plantulas de girasol a la presencia de diversos compuestos químicos orgánicos

Práctica 3. Determinación de elementos traza en plantas

Práctica 4. Realización y elaboración de proyectos de fitorremediación

## **Bibliografía Recomendada**

### **◆ Libros (I)**

Brooks RR (ed.). Plants that hyperaccumulate heavy metals. University Press, Cambridge, UK. 1998.

Froenza S, Oubre CL, Herb Ward C (eds.). Phytoremediation of hydrocarbon-contaminated soil. Lewis Publishers. 2000.

Kearney PC, Roberts T (eds.). Pesticide remediation in soils and water. John Wiley & Sons. 1998.

Kruger EL, Anderson TA, Coats JR (eds.). Phytoremediation of soil and water contaminants. American Chemical Society. Washington DC. 1997.

Leeson A, Alleman BC (eds.). Phytoremediation and innovative strategies for specialized remedial applications. Battelle Press. 1999.

Markert B, Friese K (eds.). Trace elements. Their distribution and effects in the environment. Elsevier. 2000.

Pierzynski GM, Sims JT, Vance GF (eds.). Soils and environmental quality (2th Edition). CRC Press. 2000.

Prasad MNV, Hagemeyer J (eds.). Heavy metal stress in plants. From molecules to ecosystems.



Springer-Verlag. 1999.

Raskin I, Ensley BD (eds.). Phytoremediation of toxic metals. Using plants to clean up the environment. John Wiley & Sons, Inc. 2000.

Ross SM (ed.). Toxic metals in soil-plant systems. John Wiley & Sons, Ltd. 1994.

Seminarios de Fitorremediación. Cuso Académico 2002-2003/2003-2004.

Stegmann R, Brunner G, Calmano W, Matz G (eds.). Treatment of contaminated soil. Springer-Verlag. 2001.

Stringer R, Johnston P (eds.). Chlorine and the environment. Kluwer Academic Publishers. 2001.

Vangronsveld J, Cunningham SD (eds.). Metal-contaminated soils: In situ inactivation and phytoremediation. Springer-Verlag. 1998.

Watras CJ, Huckabee JW (eds.). Mercury pollution. Integration and synthesis. Lewis Publishers. 1994.

#### ◆ **Artículos en Revistas Especializadas (I)**

#### ◆ **Documentos de la EPA (I)**

[http://: www.brownfieldstsc.org](http://www.brownfieldstsc.org)

[http://: www.epa.gov](http://www.epa.gov)

[http://: www.clu-in.org](http://www.clu-in.org)

Chappell J (1997). Phytoremediation of TCE using Populus. U.S. EPA Technology Innovation Office.

Frazar Ch (2000). The bioremediation and phytoremediation of pesticide-contaminated sites.

National Network of Environmental Management Studies.

Frick CM, Farrel RE, Germida JJ (1999). Assessment of phytoremediation as an in-situ technique for cleaning oil-contaminated sites. Petroleum Technology Alliance of Canada.

Henry JR (2000). An overview of the phytoremediation of lead and mercury. National Network of Environmental Management Studies.

Interstate Technology and Regulatory Cooperation Work Group: Phytotechnologies Work Team (2001).

Phytotechnology technical and regulatory guidance document.

Pivetz BE (2001). Phytoremediation of contaminated soil and ground water at hazardous waste site. EPA/540/S-01/500.

U.S. Environmental Protection Agency (2000). Introduction to phytoremediation. EPA/600/R-99/107.

U.S. Environmental Protection Agency (2001). Brownfields Technology Primer: Selecting and using phytoremediation for site cleanup. EPA/542/R-01/006.

## **14. Métodos docentes**

La asignatura de Fitorremediación se distribuye en clases teóricas, prácticas de laboratorio, seminarios, sin olvidar las seis horas de tutoría semanales asignadas a la asignatura, que permiten al alumno resolver sus dudas particulares y otras actividades, entre las que destacan: trabajos de campo, resolución de problemas, visitas a centros experimentales, modelos de simulación por ordenador, búsqueda de información en internet, realización de trabajos bibliográficos, etc.

## **15. Tipos de exámenes y evaluaciones**

Se realizan cuatro exámenes de la parte teórica, dos de ellos parciales eliminatorios de materia, y dos finales, uno en la convocatoria de Junio y otro en la de Septiembre. Además se pide al alumno la realización de un proyecto de Fitorremediación. Finalmente, y con el propósito de seguir la evolución de los conocimientos del alumno a lo largo del curso se realizan un número entre 5 y 10 pruebas cortas en horario de clases teóricas.