Ministerio de Cultura y Educación
Universidad Nacional de San Luis
Facultad de Química Bioquímica y Farmacia
Departamento: Bioquimica y Cs Biologicas
Area: Ecologia

(Programa del año 2019)
(Programa en trámite de aprobación)
(Presentado el 02/12/2019 21:19:58)

I - Oferta Académica

Materia	Carrera	Plan	Año	Período
(OPTATIVOS LIC.BIOL.MOL.15/14) PLANTAS Y MICROORGANISMOS: INTERACCIÓN CON AGENTES CONTAMINANTES Y SU USO EN LA BIORREMEDIACIÓN	LIC. EN BIOLOGÍA MOLECULAR	15/14	2019	1° cuatrimestre

-CD

II - Equipo Docente

Docente	Función	Cargo	Dedicación
PEDRANZANI, HILDA ELIZABETH	Prof. Responsable	P.Tit. Exc	40 Hs
CURVALE, DANIELA ALEJANDRA	Prof. Colaborador	P.Adj Exc	40 Hs
PEREZ CHACA, MARIA VERONICA	Prof. Colaborador	P.Asoc Exc	40 Hs
VILLEGAS, LILIANA BEATRIZ	Prof. Colaborador	JTP Exc	40 Hs

III - Características del Curso

Credito Horario Semanal				
Teórico/Práctico	**Teóricas**	**Prácticas de Aula**	**Práct. de lab/ camp/ Resid/ PIP, etc.**	**Total**
Hs	4 Hs	4 Hs	Hs	8 Hs

Tipificación	Periodo
C - Teoria con prácticas de aula	1º Cuatrimestre

Duración			
Desde	**Hasta**	**Cantidad de Semanas**	**Cantidad de Horas**
01/04/2019	03/05/2019	6	50

IV - Fundamentación

Una de las grandes consecuencias de la Revolución Industrial es el deterioro medio ambiental derivado de la liberación de contaminantes al medio ambiente. A diferencia de las sustancias orgánicas, los metales pesados son un grupo de contaminantes muy persistentes ya que no son biodegradables y por tanto se acumulan en suelos y aguas terrestres lo que supone no sólo un grave riesgo para la salud ambiental sino también para la salud humana. Además, por lo general estos elementos se acumulan en los tejidos de organismos vivos y sus concentraciones tienden a aumentar a medida que avanzamos hacia los niveles superiores en la cadena trófica, fenómeno que se conoce como biomagnificación (Ali et al., 2013). En la actualidad, se están desarrollando técnicas biológicas, alternativas las convencionales de ingeniería civil, para la eliminación de contaminantes del suelo. Una alternativa eco-amigable es el uso de microorganismos o sus metabolitos. Los microorganismos viven normalmente en el suelo y son componentes importantes de los procesos de geoquímicos. Estos microorganismos interactúan con los contaminantes actuando como mitigadores naturales. La diversidad microbiana presente

en suelos, aguas y sedimentos contaminados está asociada a características del ambiente y al modo en que se alcanzaron las tales condiciones extremas. Por ello, dichos ambientes son reservorios adecuados para detectar y aislar microorganismos resistentes a condiciones extremas de acidez y/o temperatura y de altas concentraciones de compuestos inorgánicos y orgánicos. Estos microorganismos autóctonos, adaptados a situaciones de estrés permiten el desarrollo de estrategias de saneamiento ambiental o tratamientos de efluentes. Dentro de la biorremediación se destaca la fitorremediacion que define en términos generales como el uso de plantas y microorganismos del suelo asociados con el fin de reducir la concentración o efectos tóxicos de los contaminantes en el medio ambiente (Greipsson, 2011). La biorremediación se presenta como una buena alternativa al tratamiento de zonas contaminadas debido a que se trata de un método de bajo costo, es menos destructivo que cualquier otra técnica ya que permite preservar el estado natural de ecosistemas en mayor medida y además no tiene ningún impacto negativo en la fertilidad del terreno. Previo a estas necesidades es imprescindible conocer como las plantas y microorganismos soportan este y otros estreses abióticos y cuáles son los mecanismos de respuesta. Dichos mecanismos son los que aportan tolerancia a algunas especies y estas son las candidatas para ser usadas en procesos de biorremediación. Este curso aportara esos conocimientos teóricos y prácticos a partir de la disertación de especialistas que en la actualidad están investigando sobre esas temáticas para aquellos estudiantes que estén interesados en la problemática ambiental, los mecanismos que las plantas desarrollan para tolerar contaminantes y la fitorremediación de las plantas o en combinación con microorganismos. El estudio de casos será una herramienta valiosa a la hora de analizar distintas estrategias de remediación. Estrategias para incrementar la tolerancia a estreses abióticos en leguminosas.

V - Objetivos / Resultados de Aprendizaje

1-Comprender los mecanismos fisiológicos, que regulan las respuestas de las plantas frente al estrés abiótico, lo que define a las mismas como sensibles y tolerantes.
2-Estudiar los mecanismos de respuesta al estrés por metales pesados en plantas, mediante la evaluación de parámetros pro-oxidantes y anti-oxidantes frente al estrés por cadmio.
3-Definir bioindicadores
4-Comprender los ciclos biogeoquímicos de metales tóxicos y su biodisponibilidad en el ecosistema.
5-Comprender el mecanismo de fitorremediación como estrategia de la tolerancia de las plantas y su importancia para la remediación de ambientes contaminados.
6-Entender los conceptos básicos sobre el uso de distintas especies vegetales y diferentes sistemas modelo en procesos de fito/rizorremediación así como las estrategias de aplicación biotecnológica.
7-Analizar las diferentes aplicaciones de la fitorremediación estudiando las características de humedales construidos evaluando el ámbito de aplicabilidad.
8-Analizar las diferentes estrategias para incrementar la tolerancia a estreses abióticos en leguminosas. Importancia de la simbiosis rizobio-leguminosa. Potencial aplicación en fitorremediación.

VI - Contenidos

UNIDAD 1: Las plantas frente a agentes contaminantes: sensibilidad y tolerancia. Concepto moderno de estrés abiótico en plantas. Diferentes factores ambientales que resultan en estreses abióticos. Rendimientos y pérdidas promedio de los principales cultivos. Respuestas a estreses ambientales. Demarcación funcional de las rutas de señalización de estreses inducidos por salinidad y sequía. Fitohormonas y mecanismos del estrés oxidativo asociadas a la tolerancia o sensibilidad en plantas cultivadas. Rutas de transducción de señales involucradas en las respuestas a estreses abióticos. Estrategias para desarrollar plantas tolerantes al estrés mediante ingeniería genética y su posible uso para la fitorremediación. La importancia de las asociaciones simbióticas con bacterias y hongos para tolerar el estrés ambiental.

UNIDAD 2: Mecanismos de respuesta del estrés oxidativo en plantas, frente a la contaminación por cadmio. . Participación del estrés oxidativo en distintos tipos de estrés abiótico. Efecto del Cadmio en los parámetros de crecimiento y pigmentos fotosintéticos. Análisis de los cambios anatómicos y estructurales en hoja y raíz en plantas contaminadas con Cd. Efecto del estrés por metales pesados: determinación de especies activas del oxígeno (ROS) y su efecto sobre macromoléculas. El rol de las ROS como moléculas señales. Determinación del efecto bioquímico y molecular de los metales pesados sobre el sistema de defensa antioxidante enzimático y no-enzimático en plantas de soja. Enzimas productoras de NADPH y su rol en la defensa antioxidante. Dra. Verónica Pérez Chaca. 4 hs

UNIDAD 3: Metodología de detección de contaminación en agua y suelo. Ciclo biogeoquímico de metales tóxicos (Cadmio, Plomo). Bioindicadores. Determinación de metales tóxicos (Pb y Cd) en agua, suelos y lombrices. Métodos de muestreo. Validación. Metales disponibles y biodisponibles. Modelo de Sauvé. Identificación de la contaminación en suelo y agua.

UNIDAD 4: Interacción Microorganismos - metales pesados, una alternativa de remediación eco-amigable. Fuentes de contaminación por metales pesados. Conceptos de nivel de fondo, especiación, movilidad y biodisponibilidad de metales pesados. Microorganismos de suelos y función. Distintas interacciones de metales pesados y microorganismos; biotrasnformación, bioacumulación, biosorción. Biorremediación ex situ e in situ utilizando microorganismos. Uso de consorcios microbianos y metabolitos microbianos en procesos de biorremediación: ventajas y desventajas. Herramienta proteómicas para el estudio de los mecanismos de resistencia en microorganismos.

UNIDAD 5: Principios básicos y aplicaciones de la Fitorremediación. Aspectos generales de la fitorremediación de contaminantes inorgánicos y orgánicos. Fitoextracción, fitoestabilización; fitodegradación; rizofiltración, rizorremediación. Diferentes especies y sistemas vegetales (suspensiones celulares, cultivos de raíces transformadas, planta entera, microcosmos, lagunas de tratamiento, etc) utilizados para remediación ambiental: ventajas y desventajas. Mecanismos bioquímicos involucrados en la fitorremediación de contaminantes. Adaptaciones fisiológicas y metabólicas de las plantas expuestas a contaminantes ambientales. Evaluación de eficiencia de remediación.Importancia de los bioensayos de toxicidad en la evaluación de fitotecnologías. Principales aplicaciones de la fitorremediación a campo y potenciales mercados. Estudio de casos.

UNIDAD 6 : Mecanismos de obtención de plantas transgénicas para potenciar la fitorremediación. Plantas transgénicas: recientes avances, oportunidades y controversias. Mecanismos de obtención de plantas transgénicas. Regulación internacional respecto del uso de plantas transgénicas para remediación. La rizoremediación como alternativa de mayor aceptación pública: alcances y limitaciones.

UNIDAD 7: Humedales construidos como herramienta válida para de fitorremediación. Humedales construidos: ¿Qué es un humedal construido? Composición de los humedales. Tipos de humedales construidos. Sistemas híbridos. Evaluación y selección de la zona de construcción: consideraciones de construcción. Modelos de diseño. Evaluación de rendimiento. Operación, mantenimiento y monitoreo.

UNIDAD 8: Estrategias para incrementar la tolerancia a estreses abióticos en leguminosas. Las leguminosas son capaces de establecer simbiosis con determinadas bacterias del suelo que llevan a cabo la fijación biológica de nitrógeno. Se analizará la importancia de la simbiosis rizobio-leguminosa en el marco de una agricultura sostenible y su importancia en la respuesta a estreses abióticos. Se presentarán los diferentes abordajes para incrementar la tolerancia a estreses, que incluyen la selección de variedades de leguminosas y cepas de rizobios tolerantes, así como la modificación genética de las plantas y/o de los rizobios. Fitorremediación.

VII - Plan de Trabajos Prácticos

TRABAJO PRACTICO 1 Taller I: FITOTECNOLOGIAS

Análisis de casos prácticos. Perspectivas. Los alumnos se dividirán en grupos para efectuar estudios de casos prácticos, estrechamente vinculados a las temáticas desarrolladas previamente en las clases teóricas, discutirán y elaborarán un breve informe, que se presentará oralmente. Se efectuará una puesta en común de cada caso, se compararán y se formularán conclusiones finales. Se intentará que los participantes relacionen los conceptos aprendidos con sus actividades de

investigación, que contribuyan al planteo de nuevas perspectivas y futuros objetivos y/o proyectos de trabajo

TRABAJO PRACTICO 2 Taller II. HUMEDALES
Estudios de casos: los alumnos serán divididos en grupos. Se les brindará un paper con aplicación de humedales construidos como tratamiento de diferentes efluentes industriales y/o domésticos. De acuerdo a lo brindado en la clase teórica, se discutirán los mismos y se elaborará una breve presentación oral del caso. Se debatirá en forma generalizada, la aplicación planteada. Se buscará que los alumnos relacionen los conceptos aprendidos en las demás teorías y la aplicabilidad de la tecnología de fitorremediación.

VIII - Regimen de Aprobación

A-Condiciones que deben cumplir los Alumnos Promocionales:

1-Los alumnos deberán tener el 100 % de talleres aprobados .
2- Los alumnos deben tener un 80 % de asistencia a todas las instancias teóricas.
3- Se realizara una evaluación oral abarcativa de todo el curso el cual debe aprobarse con al menos 70% , con una recuperación.

B-Condiciones que deben cumplir los Alumnos Regulares:
1-Los alumnos deberán tener el 100 % de talleres aprobados .
2- Los alumnos deben tener un 80 % de asistencia a todas las instancias teóricas.
3- Se realizara una evaluación oral abarcativa de todo el curso el cual debe aprobarse con al menos 60%
4- Deberán rendir un examen final escrito y se aprobará con un 60 % de respuestas correctas.

C- Los alumnos Libres deberán realizar el examen final igual que los alumnos regulares con la diferencia que deberán aprobar primero una parte practica aportada por los docentes.

IX - Bibliografía Básica

[1] Agostini, E.; Talano MA.; González PS., Wevar-Oller AL; Medina MI. 2011.Phytoremediation of phenolic compounds: recent advances and perspectives. In “Handbook of phytoremediation”, Chapter 1, pp 1-50.F. Columbus Ed. Nova SciencePublishers INC. New York. USA
[2] Agostini, E; Talano MA; Gonzalez PS; Wevar- Oller AL; Medina MI. 2013. Application of hairy roots for phytoremediation: what makes them an interesting tool for this purpose? Applied Microbiology and Biotechnology. 97:1017–1030.
[3] Ali H; Khan E;Sajad MA. 2013. Phytoremediation of heavy metals- concepts and applications. Chemosphere 91: 869-881.
[4] Bonilla, J.O., E.A. Callegari, C.D. Delfni, M.C. Estevez and L.B. Villegas. 2016. Simultaneous chromate and sulfate removal by Streptomyces sp. MC1. Changes in intracellular protein profle induced by Cr(VI). J. Basic. Microbiol. 56: 1212–1221.
[5] Briat, J-F, Lebrun M. 1999. Plant responses to metal toxicity.Plant Biology and Pathology. 322: 43-54.
[6] Brix, H., 1994. Functions of macrophytes in constructed wetlands. Wat. Sci. Tech. 29: 71-78.
[7] Castro Luna, A., Ruiz O. M., Quiroga M., Pedranzani H. 2014.Effect of salinity and drought stress on germination biomass and growth in three varieties of Medicago sativa L. RevistaAvances en InvestigaciónAgropecuaria. 18 (1):156-168.
[8] Castro MF, Bonilla JO, Delfini CD, Villegas LB 2018.Bioremediation of Heavy Metals by Cells or Metabolites Microbial Immobilized. En Strategies for Bioremediation of Organic and Inorganic Pollutants (Eds. Fuentes MS, Colin VL, Saez JM), ISBN: 978-1-138-62637-9, CRC Press Taylor & Francis Grupo, U.S.A.
[9] Chen, H.H. and Murata, N. 2002.Enhancement of tolerance of abiotic stress by metabolic engineering of betaines and other compatible solutes. Current Opinion in Plant Biology, 5:250-257-
[10] Coba de la Peña T, F.J. Redondo, E. Manrique, M.M. Lucas and J.J. Pueyo. 2010. Nitrogen fixation persists under conditions of salt stress in transgenic Medicago truncatula plants expressing a cyanobacterial flavodoxin. Plant Biotechnology Journal 8: 954-965.
[11] Coba de la Peña T, Pueyo JJ. 2012. Legumes in the reclamation of marginal soils: from cultivar and inoculant selection to transgenic approaches. Agronomy for Sustainable Development 32: 65-91.
[12] Colin, V.L., M.F. Castro, M.J. Amoroso and L.B. Villegas. 2013. Production of bioemulsifers by Amycolatopsis

tucumanensis DSM 45259 and their potential application in remediation technologies for soils contaminated with hexavalent chromium. J. Hazard Mater. 261: 577–583
[13] da Conceição Gomes MA, Hauser-Davis RA, Nunes de Souza A, Vitória AP (2016) Metal phytoremediation: General strategies, genetically modified plants and applications in metal nanoparticle contamination. (2016) Ecotoxicology and Environmental Safety, (134) 133-147.
[14] Das, P., Samantaray S. and Rout G. 1997. Studies on cadmium toxicity in plants: A review. EnvironmentalPollution 98(1), 29-36.
[15] Dai, J.; Becquer, T.; Rouiller, J. H.; Reversat, G.; Berhard-Reversat, F.; Nahmani, J. y Lavelle, P. 2004. Heavy metal accumulation by two earthworm species and its relationship to total and DTPA-extractable metals in soils. J. Soil Bio. y Biochem. 36:91 – 98.
[16] EPA. 1992. Guide to site and soil description for hazardous waste site characterization. Vol 1: metals.
[17] Foyer, CH, Lopez- Delgado H, Dat JF, Scott IM. 1997. Hydrogen peroxide and glutathione associated mechanisms of acclamatory stress tolerance and signaling. Physiologia Plantarum 100: 241-254.
[18] Gabrielli, M., Sanita di Toppi L.1999.Response to cadmium in higher plants. Environmental and experimental Botany 41, 105-130, 1999.
[19] Garbero, M., A. Andrade, H. Reinoso, B. Fernández-Muñíz, C. Cuesta, V. Granda, C. Escudero, G. Abdala H. Pedranzani, 2012 Short-term cold stress differentially affect growth, anatomy and hormone levels in two cultivars of Digitariaeriantha. Acta Physiologiae Plantarum (November 2012), 34 (6): 2079-2091
[20] Garbero, M., H. Pedranzani, F. Zirulnik, A. Molina, M.V.Pérez-Chaca, A. Vigliocco, G. Abdala 2011. Short term cold stress in two cultivars of Digitariaeriantha:effects on stress-related hormones and antioxidants defense system. ActaPhysiologiaePlantarum 14: (32): 635-644.
[21] García de la Torre VS, Coba de la Peña T, Lucas MM, Pueyo JJ. 2013. Rapid screening of Medicago truncatula germplasm for mercury tolerance at the seedling stage. Environmental and Experimental Botany 91: 90-96.
[22] Gerhardt KE, Gerwing PD, Greenberg BM. (2017) Opinion: Taking phytoremediation from proven technology to accepted practice. Plant Science 256: 170-185.
[23] Gerhardt, KE; Huang, XD; Glick, BR; Greenberg, BM. 2009. Phytoremediation and rhizoremediation of organic soil contaminants: potential and challenges. Plant Sci., 176, 20-30.
[24] Hageman, R.H., Reed A.J. 1980. Nitrate reductase from higher plants. Methods in Enzymology 69C: 270-280.
[25] Hasanuzzaman M, Fujita M 2013. Heavy metals in the environment: current progress, toxic effects on plants and phytoremediation. En Phytotechnologies: remediation ofenvironmental contaminants. Anjum NA; Pereira M.E.; Ahmad I; Duarte AC; Umar S; Khan N.A.eds. Cap 2: 7-74. CRC Press- Taylor and Francis Group, Boca Ratón, USA.
[26] Ibañez S.G.; WevarOller AL, Paisio C.E., Sosa Alderete LG; González PS, Medina MI, Agostini E. 2017. “The challenge of remediating metals using phytotechnologies”. En Heavy metals in the environment: Microorganisms and Bioremediation. CRC Press Taylor and Francis. Editor: Donati E. 370 pag. ISBN-10: 1138035807; ISBN-13:979-1138035805.
[27] Ibañez SG, Paisio CE, WevarOller AL, Talano MA, González PS, Medina MI, Agostini E, Book: Phytoremediation: management of environment contaminants, “Overview and new insights of genetically engineered plants for improving phytoremediation”, Editorial Springer. Volume 1, Ansari AA, Gill SS, Gill R, Lanza GR, Newman L. (eds) 2015, 99-113. ISBN 978-3-319-10394-5.
[28] Ibañez SG, Talano MA, Ontañón OM, Suman J, Medina MI, Macek T, Agostini E. (2016) Transgenic plants and hairy roots: exploiting the potential of plant species to remediate contaminants. New Biotechnology. 25;33(5 Pt B):625-35. 10.1016/j.nbt.2015.11.008.
[29] Kotrba, P. 2013 Transgenic Approaches to Enhance Phytoremediation of Heavy Metal-Polluted Soils. Plant Based Remediation Processes. Soil Biology 35: 239-271.
[30] Nakano, Y and Asada K. 1992.Ascorbate peroxidase – a hydrogen peroxide scavenging enzyme in plants.Physiol Plant, 85: 235- 241.
[31] Neill, SJ, Desikan R, Clarke A, Hurst R, Hancook J. 2002.Hydrogen peroxide and nitric oxide as signaling molecules in plants.Journal of experimental botany, 53, 372: 1237- 1247.
[32] NMX-AA-051-SCFI-2001. Water analisis - determination of metals by atomic absorption in natural, drinking, wastewaters and wastewaters treated - test method.
[33] Nonnoi F, A. Chinnaswamy, V.S. García de la Torre, T. Coba de la Peña, M.M. Lucas and J.J. Pueyo. 2012. Metal tolerance of rhizobial strains isolated from nodules of herbaceous legumes (Medicago spp. and Trifolium ssp.) growing in mercury-contaminated soils. Applied Soil Ecology 61: 49-59.
[34] Nwaichi, E.O. and Dhankher, O.P. 2016. Heavy Metals Contaminated Environments and the Road Map with Phytoremediation. Journal of Environmental Protection, 7, 41-51. http://dx.doi.org/10.4236/jep.2016.71004

[35] Olguín y Sanchez Galván 2012. Heavy metal removal in phytofiltration and phycoremediation: the need to differentiate between bioadsorption and bioaccumulation. New Biotechnol 30: 3-8.
[36] Pedranzani, H. Vigliocco, A. 2017. Evaluation of Jasmonic acid and Salicylic Acid levels in abiotic stress tolerance.Past and present. In: Mechanisms BehindPhytohormonalSignalling and Crop Abiotic Stress Tolerance. Editors: Vijay Pratap Singh, and others. Chapter 15: 329-349.
[37] Pedranzani, H.E., Rodriguez Rivera, M., Gutierrez M., Porcel R., House B., Ruiz Lozano, JM. 2015 Differential Effects of Cold Stress on the Antioxidant Response of Mycorrhizal and Non-MycorrhizalJatrophacurcas (L.) Plants.Mycorrhizza 26(2) 2:12 • DOI: 10.1007/s00572-015-0653-4 •
[38] Pedranzani, H.E., Tavecchio N., Gutiérrez M., Garbero M., Porcel R., Ruiz Lozano, JM. 2016. Differential Effects of Cold Stress on the Antioxidant Response of Mycorrhizal and Non-MycorrhizalJatrophacurcas (L.) PlantsJournal of AgriculturalScience; 9 (8) 1-9.DOI : 10.5539/jas.v7n8p35.
[39] Pérez Chaca, MV., Rodríguez Serrano, M. Sandalio LM., Molina, AS Pedranzani H., Zirulnik F. Romero-Puertas M.C. 2014. Cadmiun induces two waves of reactives oxygen species in glycine max L. roots. Plant, Cell&Environment, doi: 10.1111/pce.12280, 2014
[40] Redondo FJ, Coba de la Peña T, Lucas MM, Pueyo JJ. 2012. Alfalfa nodules elicited by a flavodoxin-overexpressing Ensifer meliloti strain display nitrogen-fixing activity with enhanced tolerance to salt stress. Planta 236: 1687-1700.
[41] Redondo FJ, T. Coba de la Peña, C.N. Morcillo, M.M. Lucas and J.J. Pueyo. 2009. Overexpression of flavodoxin in bacteroids induces changes in antioxidant metabolism leading to delayed senescence and starch accumulation in alfalfa root nodules. Plant Physiology 149: 1166-1178.
[42] Sanitá de Toppi L, Gabrielli R. 1999. Response to cadmium in higher plants. Environmental and Experimental Botany: 41: 105- 130.
[43] Sauvé, S.; McBride, M.B. y Hendershot, W.H. 1997. Speciation of lead contaminated soils. Environmental Pollution, 98(2): 149-155.
[44] Sauvé, S.; Dumestre, A.; McBride, M.; y Hendershot, W. 1998. Derivation of soil quality criteria using predicted chemical speciation of Pb2+ and Cu2+. Environmental Toxicology and Chemistry 17 (8): 1481-1489.
[45] Sauvé, S.; McBride, M. y Hendershot, W. 1998. Soil solution speciation of lead (II): Effects of organic matter and pH Soil Science Society of America Journal 62 (3):618-621.
[46] Sauvé, S.; Novel, W.; McBride, M.B. y Hendershot, W.H. 2000. Speciation and Complexation of Cadmium in Extracted Soil Solutions. Environ. Sci. Technol., 34: 291-296.
[47] Sayadi, M.H., Kargar, R., Doosti, M.R., Salehi, H. (2012). Hybrid constructed wetlands for wastewater treatment: A worldwide review. Proc. Int. Acad. Eco. Env. Sci. 2(49: 204-222.
[48] Schützendübel, A, Polle 2002. A. Plant responses to abiotic stresses: heavy metal-induced oxidative stress and protection by mycorrhization. Journal of Experimental Botany 53, 372: 1351-1365.
[49] Shvaleva A, T. Coba de la Peña, A. Rincón, C.N. Morcillo, V.S. García de la Torre, M.M. Lucas and J.J. Pueyo. 2010. Flavodoxin overexpression reduces cadmium-induced damage in alfalfa root nodules. Plant and Soil 326: 109-121.
[50] Stefanakis, Alexandros I. (2018). Constructed Wetlands for industrial wastewater treatment. Ed.: John Wiley and Sons. ISBN: 978-1-119-26834-5
[51] Talano MA, Armendariz AL, WevarOller A, Agostini E, (2016) Soybean exposed to arsenic: A possible risk of food chain contamination and/or a problem of crop yield loss? Capítulo 4, In: Soybeans: Cultivation, Nutritional Properties and Effects on Health, Editorial Nova Science Publishers. ISBN 978-1-63485-866-3 Editors: Bruce Fletcher pp 63-84.
[52] Umezawa, T., Fujita, M., Fujita, Y., Yamaguchi-Shinozaki, K. And Shinozaki, K. 2006. Engineering drought tolerance in plants: discovering and tailoring genes to unlock the future. Current Opinion in Biotechnology, 17:113-122.
[53] Vázquez-Nuñez E, Peña-Castro JM., Fernández-Luqueño F, Cejudo E, de la Rosa-Alvarez MG., García-Castañeda MC.(2018) A Review on Genetically Modified Plants Designed to Phytoremediate Polluted Soils: Biochemical Responses and International Regulation. Pedosphere 28(5): 697-712.
[54] Verdoy D, T. Coba de la Peña, F.J. Redondo, M.M. Lucas and J.J. Pueyo. 2006. Transgenic Medicago truncatula plants that accumulate proline display nitrogen-fixing activity with enhanced tolerance to osmotic stress. Plant, Cell and Environment 29: 1913-1923.
[55] Verma V., Ravindran P., Kumar P.P. 2016.Plant hormone-mediated regulation of stress responses. BMC Plant Biology 16: 86.
[56] Villegas LB, Amoroso MJ, de Figueroa LI. (2009). Responses of Candida fukuyamaensis RCL-3 and Rhodotorula mucilaginosa RCL-11 to copper stress. J Basic Microbiol. 49:395-403.
[57] Villegas LB, Fernández PM, Amoroso MJ, de Figueroa LI. (2008). Chromate removal by yeasts isolated from sediments of a tanning factory and a mine site in Argentina. Biometals. Oct;21(5):591-600.
[58] Villegas LB, Pereira C.E, Colin V. L and Abate C.M. (2013).The effects of sulphate and phosphate ions on Cr(VI)

reduction by Streptomyces sp. MC1, including studies of growth and pleomorphism. International Biodeterioration and Biodegradation 82: 149-156.
[59] Vishwakarma K., Upadhyay N., Kumar N., Yadav G., Singh J., Mishra R.K., Kumar V., Verma R., Upadhyay R.G., Pandey M., Sharma S. 2017. Abscisic acid signaling and abiotic stress tolerance in plants: A review on current knowledge and future prospects Front. Plant Sci. 8:161.
[60] Vranová E, Inzé D, Van Breusegem F.2002. Signal transduction during oxidative stress. Journal of Experimental Botany 53, 372: 1227- 1236.
[61] Vymazal, J. 2011. Constructed wetlands for wastewater treatment: five decades of experience. Environ. Sci. Technol. 45: 61-69.
[62] Wani, S.H., Kumar V., Shriram V., Kumar S.S. 2016. Phytohormones and their metabolic engineering for abiotic stress tolerance in crop plants. The Crop Journal 4: 162-176.
[63] Wu, H., Zhang, J., Ngo, H.H., Guo, W., Hu, Z., Liang, S., Fan, J., Liu, H. (2015).A review on the sustainability of constructed wetlands for wastewater treatment: Design and operation. Bior. Tech. 175: 594-601.
[64] Zhang, D.Q., Jinadasa, K.B.S.N., Richard, M.G., Liu, Y,. Ng, W, J,. Tan, S, K,. 2014. Application of constructed wetlands for wastewater treatment in developing countries e A review of recent developments (2000 - 2013). Journal of Environmental Management. 141 p. 116 - 131
[65] Zhu, J.-K. 2002. Salt and drought stress signal transduction in plants. AnnualReview in PlantBiology, 53:247-273.

X - Bibliografia Complementaria

[1]

XI - Resumen de Objetivos

1-Comprender los mecanismos fisiológicos, que regulan las respuestas de las plantas frente al estrés abiótico, lo que define a las mismas como sensibles y tolerantes.
2-Estudiar los mecanismos de respuesta al estrés por metales pesados en plantas, mediante la evaluación de parámetros pro-oxidantes y anti-oxidantes frente al estrés por cadmio.
3-Definir bioindicadores
4-Comprender los ciclos biogeoquímicos de metales tóxicos y su biodisponibilidad en el ecosistema.
5-Comprender el mecanismo de fitorremediación como estrategia de la tolerancia de las plantas y su importancia para la remediación de ambientes contaminados.
6-Entender los conceptos básicos sobre el uso de distintas especies vegetales y diferentes sistemas modelo en procesos de fito/rizorremediación así como las estrategias de aplicación biotecnológica.
7-Analizar las diferentes aplicaciones de la fitorremediación estudiando las características de humedales construidos evaluando el ámbito de aplicabilidad.
8-Analizar las diferentes estrategias para incrementar la tolerancia a estreses abióticos en leguminosas. Importancia de la simbiosis rizobio-leguminosa. Potencial aplicación en fitorremediación.

XII - Resumen del Programa

Estrés Abiótico en plantas
Plantas tolerantes y sensibles
Mecanismos del estrés Oxidativo
Bioindicadores
Mecanismos de obtención de plantas transgénicas para potenciar la fitorremediación.
Tipos de Fitorremediacion
Humedales construidos como herramienta válida para de fitorremediación.
Estrategias para incrementar la tolerancia a estreses abióticos en leguminosas.

XIII - Imprevistos

XIV - Otros

ELEVACIÓN y APROBACIÓN DE ESTE PROGRAMA	
	Profesor Responsable
Firma:	
Aclaración:	
Fecha:	