



Ministerio de Cultura y Educación
Universidad Nacional de San Luis
Facultad de Química Bioquímica y Farmacia
Departamento: Biología
Area: Ecología

(Programa del año 2020)
(Programa en trámite de aprobación)
(Presentado el 05/04/2020 01:22:27)

I - Oferta Académica

Materia	Carrera	Plan	Año	Período
(OPTATIVA LCB 8/13) PLANTAS Y MICROORGANISMOS: INTERACCIÓN CON AGENTES CONTAMINANTES Y SU USO EN LA BIORREMEDIACIÓN	LIC. EN CIENCIAS BIOLOGICAS	8/13-	2020	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	3 Hs	Hs	7 Hs

Tipificación	Periodo
C - Teoría con prácticas de aula	1° Cuatrimestre

Duración			
Desde	Hasta	Cantidad de Semanas	Cantidad de Horas
06/04/2020	23/05/2020	7	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. 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 fitorremediación 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. 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 aportará 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.

V - Objetivos / Resultados de Aprendizaje

- 1-Identificar cambios morfológicos, fisiológicos y bioquímicos de las plantas tolerantes y sensibles, frente al estrés abiótico.
- 2-Estudiar los mecanismos de respuesta al estrés por metales pesados en plantas, mediante la evaluación de parámetros pro-oxidantes y anti-oxidantes.
- 2-Entender los mecanismos de asociación simbióticas como mitigadoras de estrés abiótico y su posibilidad de biorremediar.
- 4- Entender la importancia de los bioindicadores en el estudio de la contaminación de aguas y suelos.
- 5-Comprender los ciclos biogeoquímicos de metales tóxicos y su biodisponibilidad en el ecosistema.
- 6-Comprender el mecanismo de fitorremediación y su importancia para la remediación de ambientes contaminados.
- 7-Analizar las diferentes aplicaciones de la fitorremediación en humedales construidos evaluando el ámbito de aplicabilidad.

VI - Contenidos

UNIDAD 1: UNIDAD 1: ESTRÉS ABIÓTICO: SENSIBILIDAD Y TOLERANCIA EN LAS PLANTAS. Concepto de estrés: eu-estrés y distrés. Severidad, duración e interacción con el estrés. Plasticidad fenotípica. Dinámica del estrés: fase de alarma, fase de restitución, fase de agotamiento y fase de regeneración completa e incompleta. Teoría del GAS (General Adaptation Syndrome). Co-estrés: resistencia y co-resistencia a estreses abióticos. Síndrome de integración múltiple. Respuesta a estreses ambientales: percepción y transducción del estrés. Nivel de respuestas de las plantas: Morfológico, fisiológico, bioquímico y genético-molecular. Ejemplos. Compuestos osmocompatibles. Enzimas antioxidantes. Proteínas reguladoras y de respuestas: Hormonas asociadas al estrés en plantas ABA (Ácido abscísico) y JA (ácido Jasmónico): Modelo de señalización frente al frío y a la salinidad en plantas.

UNIDAD 2: 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

UNIDAD 3: SIMBIOSIS Y MITIGACIÓN DEL ESTRÉS EN PLANTAS. Micorrizas. Simbiosis en diferentes familias de plantas. Tipos de micorrizas. Micorrizas arbusculares y simbiosis mutualista. Fisiología de las micorrizas arbusculares: nutrición mineral de las plantas y acumulación y distribución de biomasa en plantas micorrizadas. Procesos involucrados en el efecto de las micorrizas sobre las relaciones hídricas. Estudios de casos: *Digitaria eriantha* y *Medicago sativa*-Micorrización y frente a estreses abióticos. Parámetros morfo-fisiológicos, hormonales y bioquímicos evaluados. Candidatas para biorremediación de ambientes contaminados. Simbiosis *Rizobium*-Leguminosas : Estrategias para incrementar la tolerancia a estreses abióticos en leguminosas. 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.

UNIDAD 4: BIOINDICADORES DE CONTAMINACIÓN EN AGUA Y SUELO. Concepto de Ecotoxicología. Metodología de detección de contaminación en agua y suelo. Ciclo biogeoquímico de metales tóxicos (Cadmio, Plomo, Arsénico). Bioindicadores. Determinación de metales tóxicos (As, Pb y Cd) en agua, suelos, plantas y lombrices. Métodos de

muestreo. Validación. Metales disponibles y biodisponibles. Modelo de Sauvé. Identificación de la contaminación en suelo y agua.

UNIDAD 5: 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; biotransformación, 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 6: PRINCIPIOS BÁSICOS Y APLICACIONES DE LA FITORREMEDIACIÓN. Transporte de contaminantes orgánicos e inorgánicos. Tecnologías de fitorremediación: contención (rizofiltración, fitoestabilización y fitoinmovilización) o eliminación (fitodegradación, fitoextracción y fitovolatilización). Diferentes especies y sistemas vegetales utilizados para remediación ambiental: ventajas y desventajas. Evaluación de eficiencia de remediación. Importancia de los bioensayos de toxicidad en la evaluación de fitotecnologías. Aplicaciones de la fitorremediación a campo .

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.

VII - Plan de Trabajos Prácticos

TRABAJO PRACTICO Nº 1 : MAPA CONCEPTUAL ESTRÉS ABIÓTICO EN PLANTAS.

TRABAJO PRÁCTICO Nº 2: DINÁMICA DEL ESTRÉS OXIDATIVO EN PLANTAS DE SOJA.

TRABAJO PRÁCTICO Nº3: ANÁLISIS DE CASOS DE MITIGACIÓN DEL ESTRÉS ABIÓTICO Y BIORREMEDIACIÓN.

TRABAJO PRÁCTICO Nº 4: IDENTIFICACIÓN DE CONTAMINANTES EN AGUA Y SUELO:

TRABAJO PRÁCTICO Nº 5 : ANÁLISIS DE CASOS PRÁCTICOS DE FITORREMEDIACIÓN.

TRABAJO PRÁCTICO Nº 6 : HUMEDALES

VIII - Regimen de Aprobación

Este curso se desarrollará en formato virtual con el sistema Classroom , donde los alumnos tendrán las clases de cada especialista y los trabajos Prácticos que cada profesor proponga. Semanalmente se expondrá una temática y se realizará un trabajo práctico.

A-Condiciones que deben cumplir los Alumnos Promocionales:

- 1-Los alumnos deberán tener el 100 % de las materias regulares o aprobadas dispuestas para la promoción según el plan vigente.
- 2- Los alumnos deben tener un 100 % de actividades entregadas por el sistema de aula virtual .
- 3- Los alumnos deberán presentar los trabajos finales de cada tema y el promedio de notas de los mismos constituirá la nota final.

B-Condiciones que deben cumplir los Alumnos Regulares:

- 1-Los alumnos deberán tener el 100 % de las materias regulares o aprobadas dispuestas para la regularidad según el plan vigente.
- 2- Los alumnos deben tener un 100 % de actividades entregadas por el sistema de aula virtual .
- 3- Los alumnos deberán presentar los trabajos de cada tema y el promedio de notas de los mismos constituirá la nota final.Podrán tener una recuperación por cada trabajo presentado.

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. Delfini, M.C. Estevez and L.B. Villegas. 2016. Simultaneous chromate and sulfate removal by *Streptomyces* sp. MC1. Changes in intracellular protein profile 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. *Revista Avances en Investigación Agropecuaria*. 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 bioemulsifiers 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. *Environmental Pollution* 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 *Digitaria ariantha*. *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 *Digitaria ariantha*: effects on stress-related hormones and antioxidants defense system. *Acta Physiologiae Plantarum* 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 of environmental 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.; Wevar Oller 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, Hancock 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 Behind Phytohormonal Signalling 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-Mycorrhizal *Jatropha curcas* (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-Mycorrhizal *Jatropha curcas* (L.) Plants *Journal of Agricultural Science*; 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. Cadmium induces two waves of reactive 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] Sanità 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-Núñez 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. Absciscic 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. *Annual Review in Plant Biology*, 53:247-273.

X - Bibliografía 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 Fitorremediación

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:	