



## **CURSO DE POSGRADO**

**1-Título del curso:** *Comportamiento ambiental de herbicidas en suelo*

**2-Unidades de créditos académicos que otorga:** 2 UCAS

**3-Número de inscriptos admisible o cupo:** 30 alumnos

**4-Docente responsable:** Ing. Agr. (Dra.) Alejandra Lutz

**5-Docente del curso:**

Dra. Jorgelina Ceferina Montoya. EEA Anguil, INTA

**6-Dirigido a:** Ingenieros Agrónomos o título afín con experiencia profesional en manejo y control de plagas.

**7-Fundamentación:**

La intensificación de la producción agrícola ha conducido al incremento en la utilización de plaguicidas y en particular de herbicidas en sistemas bajo siembra directa. Por tal motivo, existe un interés creciente en conocer el comportamiento ambiental de estas sustancias a fin de reducir o evitar posibles impactos en los agroecosistemas.

### **8-Objetivos**

Objetivo General:

Estudiar las características de interés de los herbicidas y su comportamiento actual y potencial en el suelo bajo el efecto de las prácticas agrícolas.

**Objetivos Particulares:**

- Estudiar las características y propiedades de los herbicidas relacionadas al medio ambiente y los factores ambientales condicionantes de su comportamiento en el suelo.
- Estudiar el impacto ambiental de los herbicidas sobre el agua subterránea y superficial.
- Conocer el funcionamiento y manejo de índices y modelos de predicción del comportamiento ambiental de los herbicidas en el suelo.

### **9-Programa del curso:**

Destino ambiental y comportamiento de herbicidas en el suelo

Módulo 1. Introducción al destino ambiental de herbicidas

- Presentación del curso y objetivos.
- Conceptos básicos de destino ambiental de plaguicidas.
- Compartimentos ambientales y rutas de transferencia.
- Distribución de herbicidas entre suelo, agua, aire y biota.
- Propiedades fisicoquímicas relevantes de los herbicidas.



---

#### Módulo 2. Interacciones herbicida–suelo

- Factores que afectan el comportamiento de los herbicidas en el suelo.
- Propiedades del suelo relevantes (textura, materia orgánica, pH, CEC).
- Procesos de sorción y desorción.
- Isotermas de adsorción ( $K_d$ ,  $K_{oc}$ , Freundlich).
- Biodisponibilidad de herbicidas en el suelo.

---

#### Módulo 3. Transformación y persistencia

- Procesos de transformación de herbicidas en el suelo:
- Metabolitos.
- Persistencia y vida media ( $DT_{50}$ ,  $DT_{90}$ ).
- Factores que afectan la persistencia.

---

#### Módulo 4. Transporte de herbicidas en el suelo

- Mecanismos de transporte:
  - lixiviación
  - escurrimiento superficial
  - flujo preferencial
  - volatilización
- Influencia del clima, manejo y propiedades del suelo.

---

#### Módulo 5. Impacto ambiental

- Contaminación de aguas superficiales y subterráneas.
- Procesos de recarga y vulnerabilidad de acuíferos.
- Casos documentados de contaminación por herbicidas.

---

#### Módulo 6. Evaluación del riesgo ambiental

- Índices de riesgo y vulnerabilidad:
  - Modelos de destino ambiental (conceptos).
  - Modelos multimedia y modelos de transporte en suelo.
  - Aplicaciones para evaluación ambiental y toma de decisiones.
- 

### 10-Actividades prácticas propuestas:

#### Herramientas de evaluación y estudios de caso

- Interpretación de datos de monitoreo.
- Uso de modelos para escenarios agrícolas.
- Ejemplos en sistemas agrícolas reales.
- Discusión de casos de persistencia y carryover de herbicidas.

### 11-Cronograma de dictado y duración del curso

| Día   | Mañana                                          |
|-------|-------------------------------------------------|
| 22/04 | fundamentos y procesos de interacción (teórico) |



|       |                                                              |
|-------|--------------------------------------------------------------|
|       |                                                              |
| 23/04 | transformación y transporte (teórico)                        |
| 24/04 | impacto ambiental y evaluación del riesgo (teórico-práctico) |

**12-Número de horas teóricas:** 20 horas

**13-Número de horas prácticas y seminarios:** 10 horas

**14-Sistema de Evaluación:** Examen final integrador.

#### **15-Referencias Bibliográficas**

- Alexander, M. 1999. Biodegradation and Bioremediation. 2nd ed. San Diego Academic. 453 p.
- de Jonge, H.; de Jonge, L.W.; Jacobsen, O.H.; Yamaguchi, T. y Moldrup, P. 2001. Glyphosate sorption in soils of different pH and phosphorus content. Soil Science: 230-238
- Bartram, J., Ballance, R. 1996. Water quality monitoring. E& FN Spon, London. 383p.
- Bedmar, F. y Gianelli, V. 2014. Comportamiento de herbicidas en el suelo. Capítulo XIV, 361-389. En: Fernández, O.A., Leguizamón, E.S., Acciaresi, H. Malezas e Invasoras de la Argentina. Tomo I: Ecología y manejo. 1ª ed. Bahía Blanca, Editorial de la Universidad Nacional del Sur, 964 p.
- Beven, K. and Germann, P. 1982. Macropores and water flow in soils. Water Resour. Res. 18: 1361-1375.
- Bohn, H., Mcneal, B., O'connor, G. 1985. Soil Chemistry, 2nd edition. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Buczko, U., Bens, O. and Hüttl, R.F. 2006. Tillage effects on hydraulic properties and macroporosity in silty and sandy soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 70:1998-2007.
- Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes. 2009. Guía de productos fitosanitarios 2009. Tomos 1, 2 y 3. Buenos Aires, Argentina, 3087p.
- Cheng, H.H. 1990. Pesticides in the soil Environment: Processes, Impacts, and Modeling. Ed. Cheng, H.H. SSSA, Inc. Madison, USA, 530p.
- Cops 2009. Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes orgánicos persistentes. Consultado marzo 2010. [www.uv.es/aetoxweb/info/glosates/glosates.bc](http://www.uv.es/aetoxweb/info/glosates/glosates.bc).
- Corwin, D.L., Loague, K. 1996. Applications of GIS to the modeling of non-point source pollutants in the vadose zone. SSSA Special Publication No. 48, Madison, Wisconsin, USA. 319p.
- de Jonge, H., de Jonge, L.W., Jacobsen, O.H., Yamaguchi, T., Moldrup, P., 2001. Glyphosate sorption in soils of different pH and phosphorus content. Soil Sci. 166, 230-238.
- Dollinger J, C Dagés, M Voltz. 2015. Glyphosate sorption to soils and sediments predicted by pedotransfer functions. Environ Chem Lett. DOI 10.1007/s10311-015-0515-5



- Ferreira Mendes K, R Nogueira de Sousa, MA Godoi Junior, C Porfiri, JC Montoya. Chapter 3. Environmental Behavior of Herbicides in Soil. In Agricultural Soils: Impacts on the Environment (eds. Nogueira de Sousa R; Pessoa TN, Ferreira Mendes K.). 53-112 pp.
- Flury, M. 1996. Experimental evidence of transport of pesticides through field soils-A review. *Journal of Environmental Quality*, 25: 25-45.
- Focus (2008). "Pesticides in Air: Considerations for Exposure Assessment". Report of the FOCUS. Working Group on Pesticides in Air, EC Document Reference SANCO/10553/2006 Rev 2 June 2008. 327 pp.
- Gianelli, VR; Bedmar, F y Costa JL. 2014. *Environ Toxicol Chem.* 33: 29-34. doi: 10.1002/etc.2400. Epub 2013 Nov 11. Persistence and sorption of imazapyr in three Argentinean soils.
- Gramatica, P., Di Guardo, A. 2002. Screening of pesticides for environmental partitioning tendency. *Chemosphere* 47: 947-956.
- Hartzler, B. 2010. Agronomy 317. Principles of Weed Science. Iowa State University. Copyright © 1999, 2000-2009. Iowa State University. All rights reserved. Revised: August 21, 2009. <http://www.agron.iastate.edu/courses/Agron317/default.htm>.
- Helmer, R. and Hespanhol, E. 1997. Water pollution control. E& FN Spon, London. 510p.
- Hillel, D. 1982. Introduction to soil physics. Academic Press, San Diego, CA.
- Hornsby, A.G. 1992. Site-specific pesticide recommendations: the final step in environmental impact prevention. *Weed Technology*, 6:736-742.
- Hutson, J.L., Wagenet, R.J. 1992 LEACHM. Leaching Estimation and Chemistry Model: A process based model of water and solute movement, transformations, plant uptake and chemical reactions in the unsaturated zone. Version 3. Dep. of Agronomy, Cornell University, Ithaca, New York.
- Jones, R.L. 1992. Use of modeling in developing label restrictions for agricultural chemicals. *Weed Technology*, 6:683-687.
- Kay, B.D. and VandenBygaart, A.J. 2002. Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. *Soil Till. Res.* 66: 107-118.
- Keith, L. H. 1997. Environmental Endocrine Disruptors. A Handbook of property data. Version 1.0, June, 1997, John Wiley & Sons, Inc.
- Koskinen, WC y Harper, SS. 1990. The retention process: Mechanisms. In: Cheng, H.H. ed. Pesticides in the Soil Environ. Soil Sci. Society of America, 677 S. Segoe Rd., Madison, WI 53711, USA. SSSA Book Series nº 2, pp. 51-77.
- Kramer, W y Schirmer, U. 2007. Modern Crop Protection Compounds. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. ISBN: 978-3-527-31496-6.
- Linn, D.M., Carski, T.H., Brusseau, M.L., and Chang, F.H. 1993. Sorption and degradation of pesticides and organic chemicals in soil. SSSA Special Publication No. 32, Madison, Wisconsin, USA. 260p.
- López Geta, JA; Martínez Navarrete, C; Moreno Merino, L; Navarrete Martínez, P. 1992. Las aguas subterráneas y los plaguicidas. Instituto Geológico y Minero de España. 149 pp. [aguas.igme.es/igme/publica/libro28/lib28.htm](http://aguas.igme.es/igme/publica/libro28/lib28.htm)
- Marshall, T.J., Holmes, J.W., Rose, C.W. 1996. Soil physics. Cambridge University Press, New York.
- McBride, M. B. 1994. Environmental Chemistry of Soils. Oxford, UK: Oxford University Press.er2



- Merini, LJ; Cuadrado, V; Flocco, CG y Giulietti, AM. 2007. Dissipation of 2,4-D in soils of the Humid Pampa region, Argentina: A microcosm study. *CHEMOSPHERE*. 68: 259 – 265.
- Miller, G. Tyler Jr. 2007. *Ciencia ambiental / Sustaining the Earth: Desarrollo sostenible, un enfoque integral / An Integrated Approach* (Spanish Edition). Engage Learning Editores S.A. de C.V. ISBN 10: 9706867805.
- Monaco T J, Weller SC, Ashton F M. 2002. *Formulation and application equipment Weed Science: Principles and Practices*, 4th Edition. ISBN: 978-0-471-37051-2. 156-159 pages.
- Montoya, Jorgelina Ceferina; Porfiri, Carolina; Pablo M. Vazquez; Papiernik, Sharon K.; Pamela Azcarate; Roberto, Zinda Edith. 2020. "Chapter 10 DRASTIC and PIRI GIS-Based Indexes: Assessing the Vulnerability and Risk of Groundwater Pollution". En: Guillermo Chantre; José L. González-Andújar(ed.). *Decision Support Systems for Weed Management*. Estados Unidos: Springer p. 211 -224
- Montoya JC, Porfiri C, Sasal C. MÓDULO 1. Factores y procesos que definen el destino de los fitosanitarios en el ambiente. En *CURSO INTERACCIÓN DE LOS FITOSANITARIOS CON EL MEDIO AMBIENTE EN PRODUCCIONES EXTENSIVAS*. INTA-PROCADIS-MAGYP. 1-36 pp.
- Moorman, T.B., Keller, K.E. 1996. Crop resistance to herbicides: effects on soil and water quality. Chapter 19: 283-302. In: *Herbicide-Resistant Crops, Agricultural, Environmental, Economic, Regulatory, and Technical Aspects*. Ed. Duke, S.O. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida.
- Morell, L. y Candela, L. 1998. Comportamiento de los plaguicidas en Suelos y Aguas. En: I. Morell and L. Candela eds. *Plaguicidas, aspectos ambientales, analíticos y toxicológicos*. Editores: Morrel I y Candela L. Castelló de la Plana: Publicacions de la Universitat Jaume I, cop. 9-23 pp.
- Nelson, D.W. 1983. Chemical mobility and reactivity in soil systems. *SSSA Special Publication No. 11*, Madison, Wisconsin, USA. 262p.
- Ongley, E.D. 1996. Control of water pollution from agriculture. *FAO irrigation and drainage paper 55*, Roma. 101p.
- Pionke, H.B. and R.J. DeAngelis (1980). Method for distributing pesticide loss in field runoff between the solution and adsorbed phase. In *CREAMS. A Field Scale Model for Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems*. USDA Conservation Research Report. Washington, DC: USDA, SEA, pp.
- Porfiri, C; Montoya, JC; Koskinen, WC; Azcarate, MP. 2015. Adsorption and transport of imazapyr through intact soil columns taken from two soils under two tillage systems. *Geoderma* 251–252: 1–9
- Que Hee, S.S. and Sutherland, R.G. (1974) Volatilization of Various Esters and Salts of 2,4-D. *Weed Science*, 22, 313-318. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas*. Universidad nacional del Noreste. Resumen: A-019
- Qurratu, A.; Reehan, A. 2016. A Review of 2,4-Dichlorophenoxyacetic Acid (2,4-D) Derivatives: 2,4-D Dimethylamine Salt and 2,4-D Butyl Ester. *International Journal of Applied Engineering Research*. 11: 9946-9955
- Raeder AJ, D Lyon, J Harsh, Ian Burke. 2015. How soil pH affects the activity and persistence of herbicides. *Soil Acidification Series*. WSU EXTENSION.
- Reichenberger, S.; Bach, M.; Skitschak, A.; Frede, H.G. Mitigation strategies to reduce pesticide inputs into ground-and surface-water and their effectiveness: a review. *Science of the Total Environmental*, v.384, p.1-35, 2007.



- Richards, R.P., Baker, D.B., Creamer, N.L., Kramer, J.W., Ewing, D.E., Merryfield, B.J., Wallrabenstein, L.K. 1996. Well water quality, well vulnerability, and agricultural contamination in the Midwestern United States. *Journal of Environmental Quality*, 25:389-402.
- Richter, O., Dieckrüger, B., Nörtersheuser, P. 1996. Environmental fate modelling of pesticides. From the laboratory to the field scale. Editor KRAUS, H.J. VCH, Federal Republic of Germany, 281p.
- Ritter, W.F. 1990. Pesticide contamination of ground water in the United States-A review. *Journal of Environmental Science of Health*, B25:1-29.
- Robin N. Yoder, Michael A. Huskin, Lynn M. Kennard, and John M. Zabik. 2000. Aerobic Metabolism of Diclosulam on U.S. and South American Soils. *J. Agric. Food Chem.* 48: 4335-4340.
- Russell, M.H., Layton, R.J. 1992. Models and modeling in a regulatory setting: considerations, applications, and problems. *Weed Technology*, 6:673-676.
- Sasal C, Porfiri C, Montoya JC. 2022. MÓDULO 3 Prevención, mitigación y remediación de la contaminación ambiental por fitosanitarios. En CURSO INTERACCIÓN DE LOS FITOSANITARIOS CON EL MEDIO AMBIENTE EN PRODUCCIONES EXTENSIVAS. INTA-PROCADIS-MAGYP 1-21 pp.
- Schnoor, J.L. 1996. Environmental modeling. Fate and transport of pollutants in water, air and soil. John Wiley & Sons, N.York. 682p.
- Seelig, B. D. 1994. An assessment system for potential groundwater contamination from agricultural pesticide use in North Dakota-Technical Guideline. Extension Report No. 18: 15p. NDSU Extension Service, Fargo, ND.
- Seelig, B.D. 1995. Best management practices for groundwater protection from agricultural pesticides : Technical paper. ER-25, 39p., NDSU Extension Service, Fargo, ND.
- Shaw, I.C., Chadwick, J. 1999. Principles of environmental toxicology. Taylor & Francis, UK, 216p.
- Shawney, B.L. 1989. Reactions and movement of organic chemicals in soils. SSSA Special Publication No. 22, Madison, Wisconsin, USA. 474p.
- Skipper, H.D., Turco R.F. 1995. Bioremediation. Science and applications. SSSA Special Publication No. 43, Madison, Wisconsin, USA. 322p.
- Smith J.A., Witkowski P.J., Chiou C.T. 1988. Partition of nonionic organic compounds in aquatic systems. *Rev Environ Contam Toxicol* 103: 127-151.
- Sonon, L. 1992. Persistence and transport of atrazine, alachlor and nitrate in soils. PhD thesis, Dep. of Agron., Kansas State University, Manhattan, Kansas, 209p.
- Sparks, D.L. 2003. Environmental soil chemistry. Academic Press, China, 352p.
- Stenersen, J. 2004. Chemical pesticides. Mode of action and toxicology. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. 276p.
- Sur R. 2014. Terrestrial Field Degradation Based on Soil, Climatic, and Geographic Factors. Chapter 3. In: Non-First Order Degradation and Time-Dependent Sorption of Organic Chemicals in Soil. Editor(s): Wenlin Chen, Aleksandar Sabljic, Steven A. Cryer, Rai S. Kookana. 1174: 39-56. ACS Symposium Series; American Chemical Society: Washington, DC, 2014. DOI: 10.1021/bk-2014-1174.ch003
- USEPA (U.S. Environment Protection Agency). 1990. National survey of pesticides in drinking water wells, phase I report. USEPA Rep. 570/9-90-015.

- USGS (U.S. Department Of The Interior. U.S. Geological Survey). 1995. Pesticides in groundwater. U.S. Geological Survey Fact Sheet FS-244-95. U.S Gov. Print. Office, Washington, DC.
- Van Acker, R.C. 2005. Soil residual herbicides: science and management. Canadian Weed Science Society, Canada, 125p.
- Vighi, M., Funari, E. 1995. Pesticide risk in groundwater. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida, USA, 275p.
- Wahl, N.A., Bens, O., Buczko, U., Hangen, E. and Hüttl, R.F. 2004. Effects of conventional and conservation tillage on soil hydraulic properties of a silty-loamy soil. *Physics and Chemistry of the earth*. 29: 821-829.
- Walker, A. 2001. Pesticide behavior in soils and water. Symposium Proceedings No. 78. BCPC, UK. 450p.
- Walker, A., Allen, R., Bailey, S.W., Blair, A.M., Brown, C.D., Günther, P., Leake, C.R., Nicholls, P.H. 1995. Pesticide movement to water. BCPC, Monograph No 62, 414p. Proceedings of a Symposium held at The University of Warwick, Coventry.
- Walker, C.H. Hopkin, S.P., Sibly, R.M., Peakall, .B. 1998. Principles of ecotoxicology. Taylor & Francis, Great Britain, 321p.
- Wauchope RD, Yeh S, Linders JB, Kloskowski R, Tanaka K, Rubin B, Katayama A, Kördel W, Gerstl Z, Lane M, Unsworth JB. 2002. Review. Pesticide soil sorption parameters: theory, measurement, uses, limitations and reliability. *Pest Manag Sci*. 58: 419-45.
- Weber, JB. 1994. Properties and behavior of pesticides in soil. In: Honeycutt, R.C. and Schabacker, D.J. eds. *Mechanisms of Pesticides Movement into Ground Water*. CRC Press, Inc. 2000 Corporate Blvd., N. W. Boca Raton, FL, USA, pp. 15-41.
- Weed Science Society Of America (WSSA). 2007. *Herbicide Handbook*, Ninth Edition 2007, 458p. Editor S.A. Senseman, WSSA, Champaign, Illinois.

### **Journals y Revistas seriadas**

Biblioteca Electrónica de Ciencia y Tecnología de la SECyT.  
(<http://www.biblioteca.secyt.gov.ar/>)

Chemosphere

Environmental Pollution

Environmental Toxicology and Chemistry

Journal of Environmental Quality

Planta Daninha

Soil Science Society of America Journal

Soil & Tillage Research

Weed Research

Weed Science

Weed Technology