

CONTAMINACION DE SUELOS DEDICADOS AL CULTIVO DE PAPA POR PESTICIDAS

Cecilia Lazo* y Nadia R. Gamboa**

INTRODUCCION

Los agrónomos y los botánicos definen el suelo como un medio de crecimiento para las plantas. Para los ingenieros, es el material suelto que se halla entre la superficie del piso y la roca sólida. Los edafólogos lo describen como el material mineral y/u orgánico no consolidado que se encuentra sobre la superficie terrestre y que ha sido alterado por procesos pedogenéticos.

En el siglo XIX, Dokutchaeu inició un estudio sobre evaluación agrícola y capacidad de uso de la tierra en la provincia de Gorkiy (Rusia). De aquí surgió una teoría que conecta las relaciones entre rocas, geomorfología, suelos, aguas superficiales y freáticas, clima, flora, fauna y hombre. Dokutchaeu consideró el suelo como un cuerpo natural con expresión variable en el espacio y en el tiempo, e introdujo la realización de cortes verticales o *perfiles* en los suelos. En los perfiles observó una secuencia de capas horizontales distintas entre sí, a las que denominó *horizontes* [1].

En 1940, Jenny [1] definió el suelo como un sistema físico abierto, en el que las sustancias pueden ser agregadas o extraídas, y cuya variación es

* Departamento de Ciencias, Sección Química, PUCP.

** Instituto de Estudios Ambientales, PUCP.

una función de cinco factores; el material original, el relieve o topografía, el clima, los organismos y el tiempo. La formación de un suelo está determinado por el período de tiempo que los materiales originales localizados en un paisaje natural específico han sido afectados por el clima y los organismos. La génesis del suelo incluye procesos físicos y químicos de las partículas de materiales originales a la intemperie, el desplazamiento de dichas partículas, las transformaciones y alteraciones minerales, la adición de materia orgánica y la formación de horizontes. De tal manera, los suelos varían en el tipo y grosor de los horizontes, textura, estructura y otras características.

El suelo es la parte más importante en la geósfera para los humanos y la mayoría de los organismos terrestres. Aunque es sólo una delgada capa en comparación con el diámetro de la Tierra, es el medio que produce la mayor parte del alimento requerido por el hombre. Desafortunadamente, la erosión, la salinización, la contaminación por fertilizantes, por pesticidas y otros materiales que se aplican al suelo y que, a la vez, contribuyen a la contaminación del agua y del aire disminuyendo la calidad del medio ambiente.

PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO

El color es la característica física más evidente y proporciona indicios sobre la formación del suelo y los materiales que lo componen. Varía desde blanco, que puede ser consecuencia de sales depositadas; amarillo o rojo, debido a cantidades pequeñas de hierro; hasta negro, según aumenta el porcentaje de humus presente.

La textura del suelo corresponde al tamaño de partículas que lo componen. Pueden ser gravas (partículas con diámetros entre 2 y 75 mm), arena sedimentos o arcillas (partículas con diámetros entre 0.002 y 0.0002 mm o menores) [2]. La textura determina la retención de agua y las propiedades de transmisión del suelo. Así, la arena drena rápidamente a diferencia de la arcilla que tiene poros muy pequeños.

La estructura del suelo muestra el agrupamiento de las partículas en fragmentos mayores mantenidos juntos por los coloides¹ presentes. Los coloides

1 Muchos minerales, algunos contaminantes orgánicos, materiales de naturaleza proteica, y algunas algas y bacterias están suspendidos en agua como partículas muy pequeñas. Tales partículas son consideradas partículas coloidales y tienen características de especies en solución

minerales que se encuentran en la fracción son diminutos y permanecen indefinidamente en suspensión en el agua [2].

PROPIEDADES QUIMICAS DEL SUELO

La solubilidad mineral, el pH, el intercambio de iones y la demanda de nutrientes están determinadas básicamente por la naturaleza y la cantidad de los minerales arcillosos, y por la materia orgánica presente en el suelo. Los minerales disueltos están presentes como cationes: Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , y Na^+ , y bajos niveles de Fe^{2+} , Mn^{2+} y Al^{3+} . Los últimos tres cationes pueden estar hidrolizados o formando complejos organometálicos con ligandos húmicos. Los aniones HCO_3^- , CO_3^{2-} , HSO_4^- , SO_4^{2-} , Cl^- y F^- pueden formar complejos metálicos [3].

En climas subhúmedos y áridos, el pH varía entre 6 y 9, y en los desiertos, los suelos alcalinos negros presentan pH entre 9 y 11. Los podzoles presentan pH 4, un valor de pH poco frecuente en suelos [2].

Las características físicas y químicas determinan la calidad de los suelos. La densidad de volumen y la textura influyen en la aireación, la permeabilidad, la infiltrabilidad y la capacidad de retención de agua. La concentración de constituyentes orgánicos e inorgánicos determinan la fertilidad, la actividad biológica, el grado de contaminación, la salinidad, la tendencia a la corrosión y el potencial de expansión y contracción [4].

Los suelos de las zonas altoandinas del Perú proceden de material litológico diverso tal como areniscas, arcillas, lutitas, calizas y pizarras. Se presentan con desarrollo genético o sin él, y se distribuyen en molisoles, entisoles, inceptisoles y unidades misceláneas. Son suelos de textura no muy gruesa, moderadamente profundos, de reacción neutra a ligeramente alcalina. Algunos presentan contenidos altos de carbonatos libres y sales, y el drenaje es bueno. Asimismo, se reporta contenidos variables de materia orgánica, fósforo y potasio [5].

y de partículas mayores en suspensión, con diámetros que varían entre $0.001 \mu\text{m}$ y $1 \mu\text{m}$, y dispersan la luz. Las arcillas, principales componentes inorgánicos de la mayoría de los suelos, son muy importantes en la retención de agua y el intercambio catiónico de nutrientes de la planta [3] constituyendo un claro ejemplo de coloides minerales.

EL USO DE PESTICIDAS EN SUELOS ALTOANDINOS DEL PERU

Un pesticida es una sustancia o mezcla de sustancias destinada a prevenir, destruir, repeler o mitigar cualquier plaga. Estas plagas pueden ser insectos, ratones y otros animales, plantas no deseadas (malas hierbas), hongos o microorganismos como bacterias o virus.

Se ha estimado que se gasta casi 20 billones de dólares en la compra de 2.5 millones de toneladas de pesticidas agrícolas en el mundo cada año [3]. En Estados Unidos de América se utiliza 2 millones de toneladas de pesticidas, calculado como ingrediente activo, anualmente. A nivel mundial, se fabrica aproximadamente 16 millones de toneladas de pesticidas; casi la mitad de este volumen se emplea para cultivos de maíz, algodón, soya, nueces y frutas de temporada como manzanas [6].

El cultivo de papa es uno de los más importantes de la actividad agrícola andina peruana concentrándose en un cinturón entre los 3000 y 4300 m.s.n.m., con una cierta producción intensiva entre 3500 y 4000 m.s.n.m. Las plagas más comunes en los cultivos de papa son el gorgojo andino (*Premnotrypes spp*), el gusano de tierra (familia *Noctuidae*), enfermedades fungosas como el tizón tardío (*Phytophthora infestans*), la polilla del tubérculo de la papa (*Phthorimae operculella (Zeller)*) y la pulguilla (*Epitrix spp*). Según un estudio realizado por el Centro Internacional de la Papa en las zonas altas de Cusco y el Valle del Mantaro [7], es común el uso de prácticas tradicionales para el manejo de plagas en las parcelas sembradas con variedades nativas para consumo casero. En cambio, las aplicaciones de pesticidas son importantes en parcelas sembradas con variedades comerciales. En dicho estudio se efectuó una encuesta entre los agricultores de la zona para determinar la frecuencia en la aplicación de pesticidas en sus terrenos de cultivo. La gran mayoría espolvorearon o pulverizaron de una hasta cuatro veces algún pesticida o mezcla de pesticidas. Por lo general, se usó una mezcla de insecticidas para cualquier plaga que pudiera estar haciendo daños visibles a las hojas, fungicidas para el tizón tardío y otras enfermedades, y fertilizantes foliares para ayudar a la planta a recuperarse de las heladas, del granizo u otro daño físico.

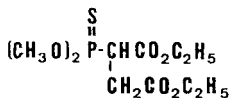
El uso de pesticidas se ha incrementado rápidamente desde que fueran introducidos hacia fines de la década de 1940. Durante este período, el uso de variedades mejoradas, fertilizantes y otras innovaciones ha aumentado los rendimientos en áreas de gran potencial con acceso a los mercados. Simultáneamente, el riesgo de ataque de plagas más resistentes y las consecuencias financieras del daño que producen, se han incrementado significativamente.

Los pesticidas son promocionados en forma agresiva en la zona rural del Perú por una red de corporaciones multinacionales y distribuidores locales. Varios productos disponibles en los expendios locales han sido prohibidos (*e.g.* Aldrin) o severamente restringidos en el mundo.

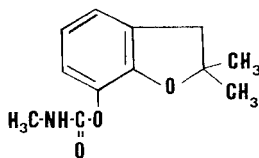
ACCION DE LOS PESTICIDAS SOBRE EL AMBIENTE

Los pesticidas son clasificados en categorías de acuerdo al organismo para el cual han sido diseñados. Los herbicidas previenen el crecimiento o destruyen la mala hierba; los insecticidas matan o controlan insectos; los fungicidas protegen a la planta de hongos; los bactericidas controlan las bacterias que pueden causar daño a las frutas y que desarrollan ampollas en las plantas; los nematocidas protegen las raíces de las plantas jóvenes contra los gusanos microscópicos; los acaricidas o mitocidas controlan hormigas y arañas; y los roenticidas matan roedores. También se conoce los algicidas, agentes antifoliantes, biocidas, desinfectantes, fumigantes, ovidas, feromonas, repelentes, etc. El término pesticida es empleado asimismo para desfoliantes, desecantes, reguladores de crecimiento de insectos y de plantas. Muchos productos utilizados en el hogar son pesticidas: sprays para matar cucarachas, repelentes de insectos de uso personal, venenos para ratas y otros roedores, sprays, polvos y collares para matar pulgas y garrapatas en las mascotas, desinfectantes para cocina, lavandería y baño, y algunos productos para jardín y piscinas.

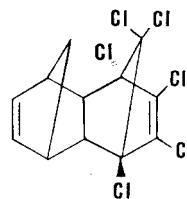
La mayoría de los pesticidas son productos orgánicos sintéticos. También se usa compuestos inorgánicos como los arseniatos de calcio y plomo, y la mezcla de Bodeax constituida por sulfato de cobre e hidróxido de calcio [6]. Los pesticidas son sustancias tóxicas y deben ser tratados como tales. En condiciones óptimas, un pesticida debe tener un efecto tóxico máximo sobre un organismo no deseado, y un efecto mínimo sobre el ser humano. Aún cuando



Malathion



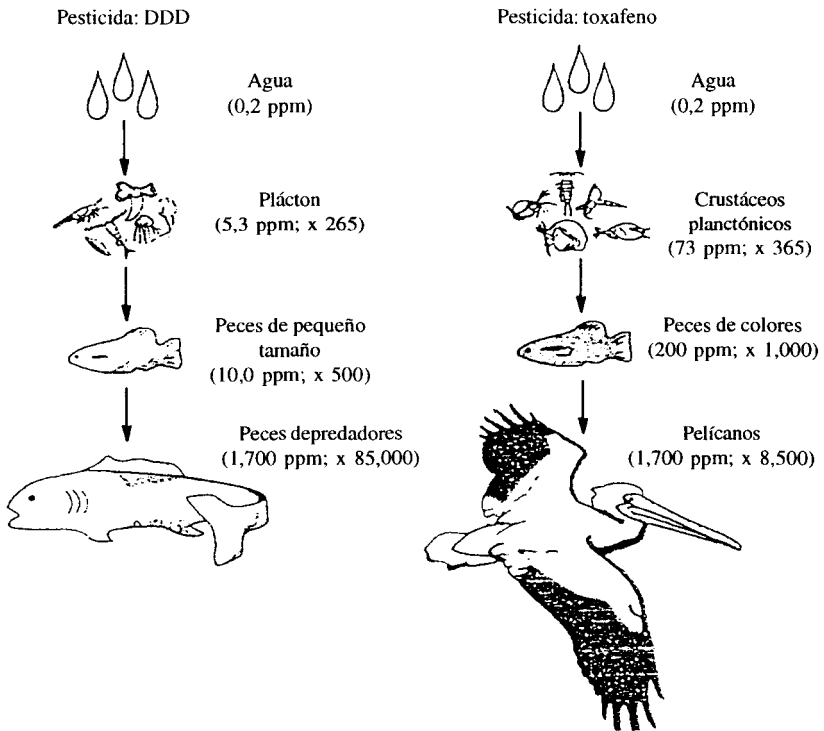
Carbofurano



Aldrin

se dispone de muchos compuestos que no son tóxicos para los animales superiores, en exposiciones prolongadas pueden ser persistentes.

Los insecticidas se describen en términos de tres categorías químicas principales: organofosforados, hidrocarburos clorados y carbamatos [6]. Malathion es usado como insecticida y acaricida, importante en el desarrollo de insecticidas organofosforados. Fue el primer miembro con un amplio espectro de actividad insecticida combinado con una toxicidad para los mamíferos significativamente baja (LD_{50} oral para ratas ~ 1300 mg/kg). Los campesinos del Valle del Mantaro y del Cusco emplean con frecuencia Furadan y Curater, pesticidas de tipo carbamato, y Aldrin, un hidrocarburo clorado. Los carbamatos



DDD: 1,1-bis(4-clorofenil)-2,2-dicloroetano

Figura 1. Bioacumulación de pesticidas en cadenas tróficas [9]. Se indica concentraciones y factores de incremento según el organismo.

tienen buena solubilidad en agua, menor persistencia en el ambiente que los pesticidas clorados y tienden a lixiviarse en el suelo [8]. En cambio, los insecticidas clorados son altamente persistentes (*e.g.* Aldrin tiene un tiempo de vida media de 68 horas [4]), extremadamente insolubles en agua y tienden a erosionar el suelo.

Un aspecto preocupante en el uso de pesticidas es su persistencia debido a la degradación y la bioacumulación. Muchos estudios comentan la toxicidad de los pesticidas en plantas y animales como resultado del transporte de éstos en el suelo y el agua. La investigación en laboratorios ha demostrado que altas dosis de ciertos pesticidas proporcionadas a animales pueden causar cáncer, mutagénesis, neuropatías e incluso la muerte. Se investiga en algunos países la relación entre la exposición de seres humanos a los pesticidas y el nacimiento de niños con malformaciones. Pequeñas concentraciones de pesticidas absorbidos o ingeridos pueden acumularse en el organismo que las ingirió o en otros organismos superiores de la cadena trófica, lo cual se conoce como bioacumulación (Figura 1). Un gran número de pesticidas son tóxicos para otros organismos distintos a aquéllos para los cuales han sido diseñados.

La degradación y el destino son importantes en la determinación del impacto que tienen los pesticidas sobre el ambiente. Su uso apropiado requiere un conocimiento de los factores que pueden influir en su movimiento y destino así como sobre la salud humana, la calidad ambiental y la eficacia del pesticida. Entre los factores considerados para la evaluación del impacto están la absorción, la lixiviación, sus efectos en los microorganismos, y la posible producción de sustancias de degradación más tóxicas. La toma de decisiones en el manejo de pesticidas debe considerar el tipo de pesticida, el tipo de aplicación, la tecnología de rociado, el tiempo de aplicación, el cronograma de irrigación, las prácticas de labranza y los procedimientos de aplicación adecuados.

El movimiento o transporte de sustancias químicas como los plaguicidas, así como su degradación final después de su introducción en el suelo, son determinados por procesos químicos, físicos y biológicos. Estos procesos dependen del tipo de suelo receptor y de cada compuesto químico. La estructura molecular determina parcialmente el grado de reacción de cada compuesto en el ambiente. Los diferentes procesos de transporte y degradación que controlan el movimiento y destino de las sustancias químicas orgánicas en el suelo aparecen en la Tabla 1 [4].

Tabla I. Movimiento y destino de los pesticidas en el ambiente

<i>Proceso</i>	<i>Consecuencia</i>
Transporte (procesos que reubican las sustancias químicas sin alterar sus estructuras)	
* desplazamiento físico	movimiento debido al viento
* volatilización	pérdida por evaporación del suelo, por plantas o sistemas acuáticos
* adsorción	remoción por interacción con plantas, suelos y sedimentos
* absorción	ingestión por las raíces de plantas o por animales
* lixiviación	transporte lateral o posterior a través del suelo
* erosión	movimiento por acción del viento o del agua
Degradación (procesos que alteran la estructura química)	
* fotoquímica	descomposición debido a la absorción de luz solar
* microbiana	degradación por microorganismos
* química	alteración por procesos químicos como hidrólisis y reacciones redox
* metabólica	transformación después de ser absorbidos por plantas y animales

La adsorción de los pesticidas en el suelo es un paso clave en su degradación y disminuye su volatilización y lixiviación. En algunos casos, la degradación del pesticida es retardada si éste es separado de las enzimas microbianas responsables; en otros, las reacciones de degradación puramente químicas serán catalizadas gracias al proceso de adsorción [3].

El uso adecuado de los pesticidas requiere un conocimiento de los factores que influyen en su transporte y destino en búsqueda de proteger la salud

del hombre y la calidad ambiental sin disminuir la eficacia de su acción. De lo contrario, los ecosistemas circundantes pueden ser afectados si las condiciones para el desplazamiento, lixiviación o permanencia en la superficie de estas sustancias son propicias.

BIBLIOGRAFIA

- [1] García, A. 1996. Apuntes del curso *El suelo como recurso natural*. PUCP.
- [2] Strahler, N. 1981. Geografía Física. Ediciones Omega S.A. Barcelona. p. 319-331
- [3] Manahan, S. 1994. Environmental Chemistry. CRC Press. USA.
- [4] Perzynski, G., Sims, J.T. y G. Vance. 1994. Soils and Environmental Quality. Lewis Publishers. USA.
- [5] Ministerio de Agricultura. 1984. Estudio Semidetallado de los Suelos de las Provincias Altas de Cusco.
- [6] Winscoff, H. 1991. Productos Químicos Orgánicos Industriales. Vol. 2. Edit. Limusa S.A. México. p.363-386
- [7] Ewell, P.T. et al. 1994. Manejo de Plagas de la Papa por Agricultores en el Perú. Centro Internacional de la Papa. Lima, Perú.
- [8] Zarkzewski, S. 1991. Principles of Environmental Toxicology. American Chemical Society. Washington. p. 142-148.
- [9] La Grega, M., Buckingham, P. y J. Evans. 1996. Gestión de Residuos Tóxicos. Tratamiento, Eliminación y Recuperación de Suelos. McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A., España.