

ESPECIALIZACIÓN EN PLANEACIÓN AMBIENTAL Y MANEJO INTEGRAL DE LOS
RECURSOS NATURALES



**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE PERSISTENCIA EN SUELOS DE AGROQUÍMICOS
USADOS EN CULTIVO DE FRESA EN FACATATIVA CUNDINAMARCA**

DIANA KATHERINE AGUILERA BERNAL
Ingeniero Ambiental
dkab.1509@gmail.com

Universidad Militar Nueva Granada
Facultad de Ingeniería
Especialización en Planeación Ambiental Manejo Integral de los Recursos Naturales

BOGOTA D.C
Noviembre, 2017

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE PERSISTENCIA EN SUELOS DE AGROQUÍMICOS USADOS EN CULTIVO DE FRESA EN FACATATIVA CUNDINAMARCA

ANALYSIS OF BEHAVIOR OF PERSISTENCE IN SOILS OF AGROCHEMICALS USED IN STRAWBERRY CULTIVATION IN FACATATIVA CUNDINAMARCA

Diana Katherine Aguilera Bernal
Ingeniero Ambiental, Bogotá D.C, Colombia, dkab.1509@gmail.com

Resumen

Los Ingredientes activos de los agroquímicos son los compuestos que tiene como misión el control de las plagas y enfermedades que atacan a los cultivos, esto implica su gran complejidad química e impacto ambiental causado por su persistencia y propiedades físico químicas que determinan su comportamiento en el ambiente. En el presente artículo se centrara el análisis de este comportamiento en el suelo, específicamente en el cultivo de fresa debido a su gran influencia económica en el municipio de Facatativá (Cundinamarca).

Es por ello que Aguilera & Espinosa (2015) cuantificaron la persistencia de 15 Agroquímicos en una Finca dedicada al cultivo de fresa, a partir de este estudio se analizara la persistencia de nueve de estos ingredientes activos, a partir de las constantes calculas, y aprobadas por resoluciones publicadas por el ANLA, estas son tipología, Persistencia, Coeficiente de adsorción suelo/agua (K_{oc}), Coeficiente de Partición Octanol/Agua ($\log K_{ow}$), Presión de Vapor, Solubilidad en agua y Potencial de lixiviación (GUS). Dichas constantes fueron analizadas a partir de la metodología comparativa entre :De la Vega (2015) y un ente ambiental colombiano la Corporación Autónoma Regional del Cauca CRC (2010) juntos basadas en los datos tomados del Catálogo oficial de Plaguicidas (1998).

Se puedo estimar la gran importancia en cuanto a significancia ambiental en los componentes agua y suelo de los 5 ingredientes clasificados como Organoclorados (Procimidona, Azoxystrobine, Tetradifon, Carbendazim y Benomil, Difenoconazole, Epoxiconazole, Fluopyram, Prochloraz y Tebuconazole)algunos presentaron los valores más altos en cuanto al análisis de la persistencia y movilidad en los suelos, y todo ello potencializado por las características físicas del suelo objeto de estudio en donde prevalecen las arcillas que magnifican las posibilidades de adsorción de los ingredientes activos a los coloides del Suelo.

Palabras Clave: Agroquímico, Persistencia, Adsorción, Organoclorado, Organofosforado, Carbamato

Abstract

The active ingredients of agrochemicals are the compounds whose mission is the control of pests and diseases that attack crops, this implies its great chemical complexity that implies a high environmental impact due to its persistence and physical and chemical properties that determine its behavior in the environment. In the present article, the analysis of this behavior in the soil will be focused, specifically in strawberry cultivation due to its great economic influence in the municipality of Facatativá (Cundinamarca).

That is why Aguilera & Espinosa (2015) and quantified the persistence of 15 Agrochemicals in a farm dedicated to the cultivation of strawberry, from this study will analyze the persistence of nine of these active ingredients, from the constants calculated, and approved by resolutions published by the Anla, these are typology, Persistence, Soil / water adsorption coefficient (Koc), Octanol / Water Partition Coefficient (log Kow), Vapor Pressure, Solubility in Water and Leaching Potential (GUS). These constants were analyzed based on the comparative methodology of: De la Vega (2015) and a Colombian environmental entity the Regional Autonomous Corporation of Cauca CRC (2010) together based on the data taken from the Official Catalog of Pesticides (1998).

We can estimate the great importance in terms of environmental significance in the water and soil components of the 5 ingredients classified as Organochlorines (Procimidone, Azoxystrobin, Tetradifon, Carbendazim and Benomil, Difenconazole, Epoxiconazole, Fluopyram, Prochloraz and Tebuconazole) some presented the highest values high in terms of the analysis of persistence and mobility in soils, and all potentiated by the physical characteristics of the soil under study where clays prevail that magnify the possibilities of adsorption of the active ingredients to soil colloids.

Keywords: Agrochemical, Persistence, Adsorption, Organochlorine, Organophosphate, Carbamate

Introducción

El aumento global de la población ha conducido al sector agrícola a producir alimentos en mayor cantidad, para cumplir tal objetivo es necesario contrarrestar variables como el clima, las plagas, las malezas y los hongos entre otros, es así como los plaguicidas se han convertido en importantes insumos en las actividades agrícolas, ya que garantizan el mantenimiento de los cultivos, como también la calidad y cantidad de las cosechas producidas.

El comportamiento de los plaguicidas resulta de gran interés ya que “una vez son liberados en el suelo interactúan con los componentes bióticos y abióticos de este, lo que conlleva a la modificación de sus características fisicoquímicas y biológicas”(García & Fernández, 2013) de esta manera, los cultivos que emplean plaguicidas se enfrentan a un proceso de contaminación, que depende de la tasa de degradación de sus ingredientes activos en el suelo, ya que “cuanto más tiempo permanecen en el suelo, mayor es la probabilidad de contaminación del medio ambiente” (Müller, 2013).

Según los fresicultores para ejecutar sus actividades agrícolas y mantener la producción de su cultivo requieren usar diversos agroquímicos, ya que al ser un cultivo permanente estos se deben alternar con el fin de evitar la resistencia de las plagas y enfermedades frente a la acción de los mismos.

Es así como se ha determinado la relación entre la persistencia de los ingredientes activos con la interacción física del suelo en el cual es aplicado tales como las condiciones de estructura, textura y forma, y las diferentes constantes físicas propias de cada ingrediente como son el Coeficiente de adsorción suelo/agua (Koc), Coeficiente de Partición Octanol/Agua (log Kow), Punto de Fusión, Presión de Vapor, Solubilidad en agua, Potencial de lixiviación ecuación de Gustafson (GUS). La influencia e interacción de estas en niveles de calificación mayores o de elevada relevancia en términos ambientales permite determinar cuáles son los ingredientes activos que tienen mayor potencial de permanencia o movilidad hacia recursos hídricos subterráneos. Es así como se generaría un punto de partida al análisis de alternativa para que

los agricultores evalúen la posibilidad de encontrar productos con finalidades similares con tipología biológica y generen una menor afectación en el componente suelo, disminuyan la probabilidad al recurso hídrico y reduzcan la posibilidad de bioacumulación en estructuras vegetales y a su vez al fruto, que generaría efecto adverso en cadenas tróficas y biota relacionada en mecanismos de interacción ecosistémica.

MARCO TEÓRICO

El termino Plaguicida hace referencia a aquellos compuestos químicos sirven para combatir los parásitos de los actividades agrícolas y agropecuarias, sin embargo dichas moléculas son caracterizadas por poseer estructuras de alta complejidad y difícil asimilación de metabolización por parte del suelo.

El Código Internacional de Conducta Sobre la Distribución y Uso de Plaguicidas de la Food and Agriculture Organization (FAO) de las Naciones Unidas, determina que un plaguicida “es cualquier sustancia o mezcla de sustancias destinadas a prevenir, destruir o controlar cualquier plaga, incluyendo los vectores de enfermedades humanas o de los animales, las especies no deseadas de plantas o animales que causen perjuicio o interfieran de cualquier otra forma con la producción, elaboración, almacenamiento, transporte o comercialización de alimentos, productos agrícolas”. Adicionalmente es importante conocer las sustancias químicas que conforman los ingredientes activo, ya que estas formulaciones determinan la metodología de aplicación es campo (**Tabla 1**)

INGREDIENTE ACTIVO	INGREDIENTE PASIVO	APLICACION
Es el compuesto que tiene como misión el control de la plaga	Es una sustancia que se agrega para facilitar la aplicación y mejorar la efectividad	Aerosoles, polvos humectables, granulados, concentrados emulsionable

Tabla 1. Adaptado de Afonso (2011)

Efectos de los Plaguicidas en la Biota

Se ha determinado el alto impacto e influencia negativa de los agroquímicos frente al componente biótico y a su vez en relación al abiótico, tal como se muestra en la **imagen 1**, donde se esquematiza los efectos en cuando al uso de agroquímicos. Sin embargo adicionalmente a esto se ha determinado específicamente como los ingredientes activos de los plaguicidas han sido creados para que su acción sea elevada y específica lo que generaría como efectos adversos su magnificación en cuanto a persistencia ambiental, contaminación de recursos hídricos, biomagnificación en suelos, bioacumulación, degradación de flora y fauna y los desequilibrios ecológicos provocados por la afectación a especies benéficas.

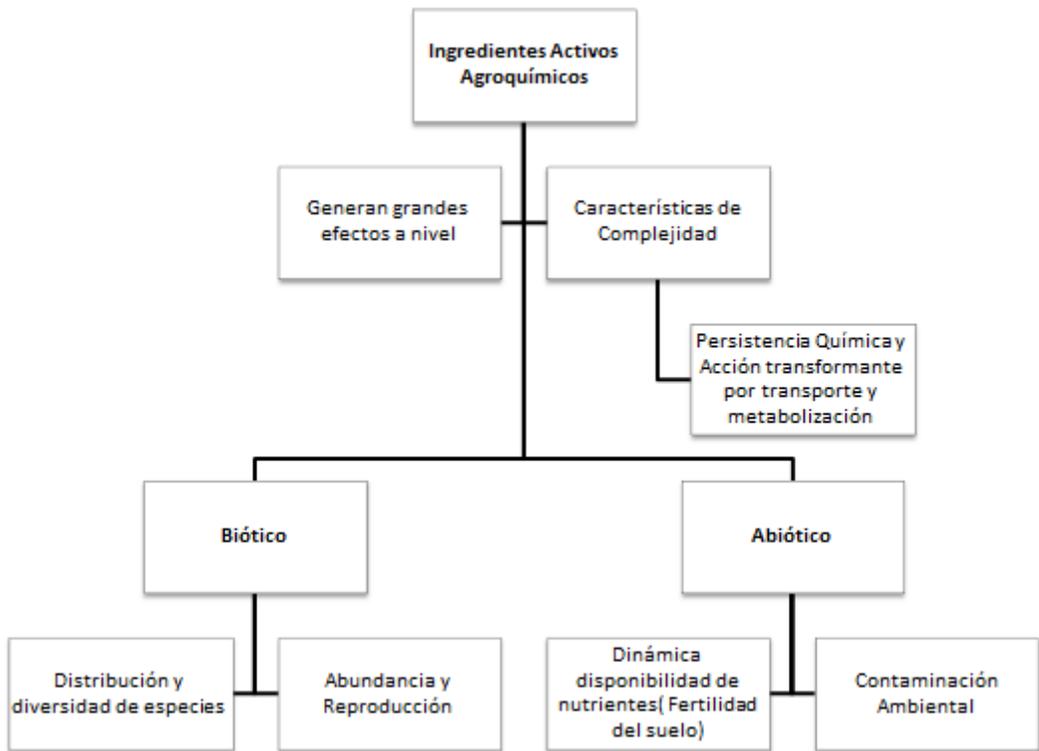


Imagen 1. Efectos Ingredientes Activos Agroquímicos. Elaboración Propia

A continuación en la **tabla 2** se referencia la importante significancia a nivel ambiental de las estructuras químicas y su comportamiento dentro de los ecosistemas y su nivel de significancia a partir de la persistencia evidenciada en el suelo de la Finca Arenas.

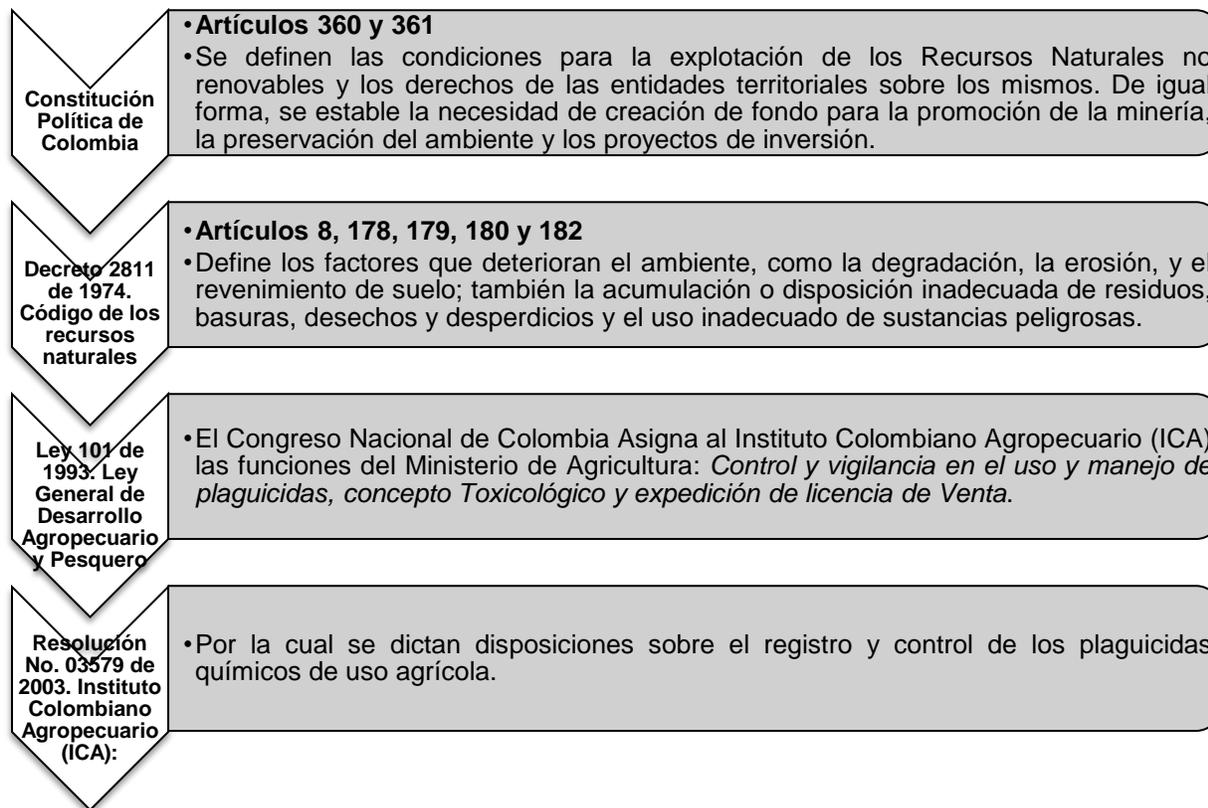
ORGANOCLORADOS	ORGANOFOSFORADOS	CARBAMATOS
Los plaguicidas Organoclorados son derivados de los hidrocarburos clorados, son persistentes en el medio ambiente y actúan como venenos estomacales y de contacto. El compuesto más conocido de esta categoría toxicológica es el DDT.(Albert,1990)	Los plaguicidas organofosforados son generalmente esteres del ácido fosfórico. Son inhibidores de la enzima acetilcolinesterasa y provocan reacciones en el sistema nervioso. Son poco persistentes en el medio ambiente, pero altamente tóxicos para aves, mamíferos y en menor cantidad para los peces (Albert,1990)	Los plaguicidas carbamatos tienen algunas propiedades similares a los organofosforados también son inhibidores de la enzima acetilcolinesterasa, pero éstos, derivados del ácido carbámico, son menos persistentes que los organofosforados y sus efectos no duran más de ocho horas (Albert,1990). Los carbamatos son sustancias orgánicas utilizadas mayormente como fungicidas, que contaminan y tienen efecto principalmente Neurotóxico sobre el hombre. (Blanco,2013)

Tabla 2. Conceptos Tipología de Agroquímicos

METODOLOGÍA

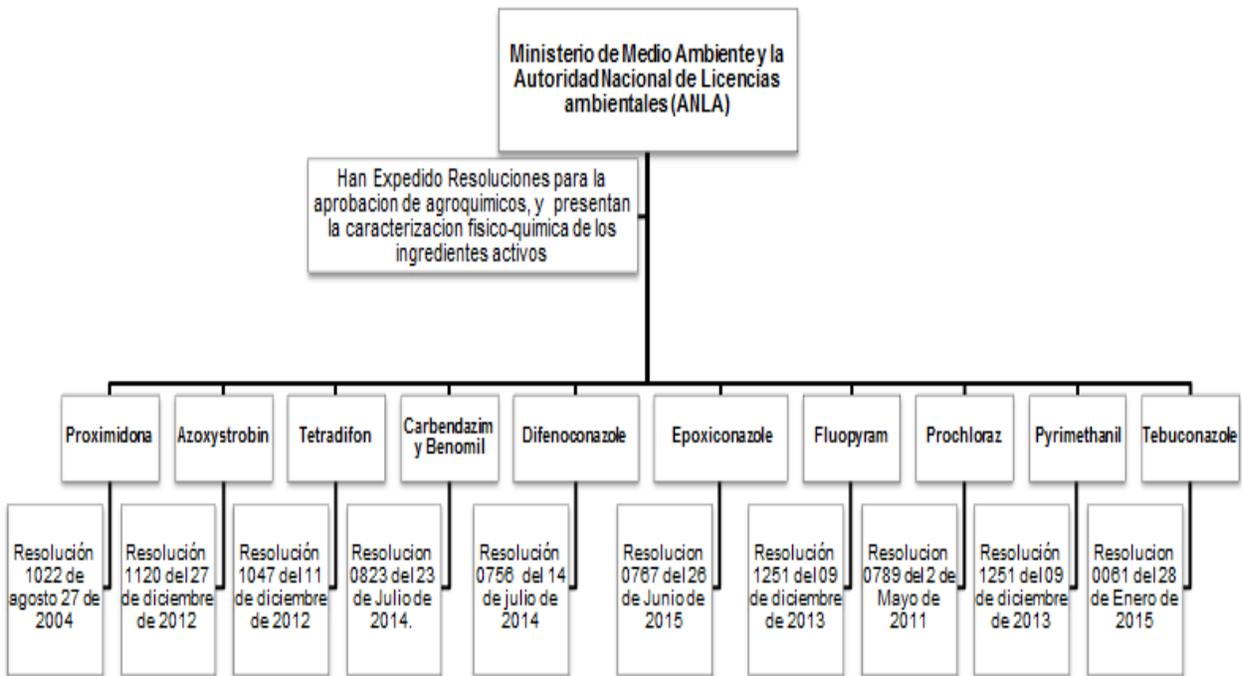
1. Marco Normativo referente

La Legislación ambiental en Colombia tiene en contexto una normativa referida al análisis de Plaguicidas y el componente ambiental directamente implicado: El Suelo, es por ello que se hace indispensable para el desarrollo de este estudio verificar la más afín a este requerimiento, tal como se resume en el **esquema 1**.



Esquema 1. Normatividad referida al componente suelo y su relación con los agroquímicos.

Es importante destacar que todas las constantes físico-químicas a analizar dentro de este artículo fueron tomadas de respectivas resoluciones expedidas por la Autoridad de Licencias Ambientales (ANLA) y el Ministerio de Medio ambiente y Desarrollo Territorial las cuales presentan la aprobación de los agroquímicos y la caracterización físico química de los ingredientes activos que los conforman, a continuación en el esquema se relacionan las respectivas para los nueve ingredientes activos.



Esquema 2. Resoluciones ANLA de aprobación de agroquímicos y caracterización fisicoquímica de los ingredientes activos.

2. Análisis Propiedades Físicas del Suelo

A continuación se relaciona la vista satelital y ubicación geográfica de la Finca arenas, es allí donde Aguilera & Espinosa realizaron sus muestreos de Suelo para su posterior diseño experimental, de igual manera se parte de esta misma ubicación ya que es de estos análisis que se da inicio al análisis de la persistencia de los Ingredientes activos a analizar dentro del marco de propiedades físicas en el suelo presente en el área de estudio.



Imagen 2. Imagen Satelital Finca Arenas, Vereda Manzanos. Coordenadas Geográficas: 4°50'18.32"N 74°16'20"O. Fuente: Google Earth

A través de los datos en Campo obtenidos previamente por Aguilera & Espinosa para la Finca Arenas ubicada en el Municipio de Facatativá (**Imagen 2**) en su Investigación denominada EVALUACIÓN DE *Canavalia ensiformis*, *Taraxacum officinale* y *Eleusine indica* COMO POTENCIALES FITORREMIADORAS DEL SUELO CONTAMINADO POR AGROQUIMICOS EN LA FINCA FRESICULTORA ARENAS DEL MUNICIPIO DE FACATATIVÁ , donde se evalúa un diseño experimental a dichas plantas durante 3 meses, el suelo testigo pudo cuantificar sin ningún cambio apenas las transformaciones naturales de los ingredientes activos y estimar su real comportamiento en el suelo de la finca objeto de estudio. De esta manera se llevó a cabo el respectivo análisis físico del suelo de algunas variables determinadas en este estudio y que inciden en el comportamiento de los ingredientes activos analizados en el presente artículo, dichas características a analizar se evidencian en la **tabla 3** con su respectiva significancia en el análisis a realizar

	HORIZONTES DEL SUELO	TEXTURA DEL SUELO
Método	Identificación visual y asociación a características teóricas establecidas de la calicata realizada por Aguilera & Espinosa	Análisis de las pruebas de Tacto en estado Húmedo y seco para realizar la determinación de porcentajes de Arena, Limo y Arcilla para la estimación a partir del triángulo textural (Aguilera& Espinosa)
Referencia	Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) KAPLAN Abraham. Guía para la descripción e interpretación del perfil del Suelo. FAO.	ECHEVERRIA, Hernan. Edafología Agrícola. 2011 KAPLAN Abraham. Guía para la descripción e interpretación del perfil del Suelo. FAO.

Tabla 3. Metodología de Análisis Propiedades Físicas del Suelo

3. Interpretación y Análisis de las Constantes Físicoquímicas

A partir de las constantes físico-químicas determinadas por cada una de las resoluciones de aprobación realizadas por el ANLA, se determinó el comportamiento de los ingredientes activos en la finca Arenas, dicho análisis se realizó a partir del consolidado investigativo determinado por De la Vega (2015) y Corporación Autónoma Regional del Cauca CRC (2010) y tomados del Catálogo oficial de Plaguicidas (1998). A continuación se relacionan los comparativos por cada constante analizada para determinar que ingredientes activos tienen alto potencial para afectar el componente suelo y aguas subterráneas.

a. Persistencia

PERSISTENCIA	TIEMPO
Ligeramente persistente	Menor de 4 semanas
Poco persistente	De 4 a 26 semanas
Moderadamente persistente	De 27 a 52 semanas
Altamente persistente	De 1 a 20 años
Permanentes	Mayor de 20 años

Tabla 4. Clasificación de los plaguicidas de acuerdo a su persistencia. Fuente: Catálogo Oficial de Plaguicidas, CICOPLAFEST, 1998

b. Coeficiente de adsorción suelo/agua (Koc)

ADSORCION DEL PLAGUICIDA AL SUELO		VALORES DEL COEFICIENTE	
Muy débil		Menor a 10	<p>Koc BAJO</p> <ul style="list-style-type: none"> El plaguicida puede distribuirse en cuerpos de agua o aire
Débil		10 a 100	
Moderada	El plaguicida puede ser volátil	100 a 1000	<ul style="list-style-type: none"> El plaguicida puede no ser fijado a la materia orgánica del suelo La vía de exposición al plaguicida puede ser la inhalatoria
De moderada a fuerte	El plaguicida puede ser soluble en grasa	1000 a 10,000	<p>Koc ALTO</p> <ul style="list-style-type: none"> El plaguicida se puede fijar en suelo, sedimento, biota y materia orgánica El plaguicida puede moverse en aguas superficiales La vía de exposición al plaguicida puede ser por la cadena alimenticia
Fuerte		10,000 a 100,000	
Muy fuerte		Mayores a 100,000	

Tabla 5. Rangos del Koc (ml/g carbono orgánico)

c. Coeficiente de Partición Octanol/Agua (log Kow)

ACUMULACION DE PLAGUICIDA EN GRASA (Kow)	PLAGUICIDA
Alto	<ul style="list-style-type: none"> El plaguicida puede fijarse con firmeza a materia orgánica, sedimento y biota El plaguicida puede bioacumularse en grasa corporal de animales La vía de exposición al plaguicida puede ser por la cadena alimenticia
Bajo	<ul style="list-style-type: none"> El plaguicida puede no fijarse en materia orgánica El plaguicida puede moverse en aguas superficiales, acuíferos y aire La vía de exposición al plaguicida puede ser la inhalatoria

Tabla 6. Rangos de Kow de un plaguicida

d. Presión de Vapor

PRESIÓN DE VAPOR DEL PLAGUICIDA	AFINIDAD DEL PLAGUICIDA AL SUELO O AGUA	PLAGUICIDA
$< 1.0 \times 10^{-5}$	Alta	<p>BAJO POTENCIAL PARA VOLATILIZARSE</p> <p>Se puede solubilizar en agua o ser retenido en suelo</p>
$> 1.0 \times 10^{-3}$	Baja	ALTO POTENCIAL PARA VOLATILIZARSE

Tabla 7. Presión de vapor de un plaguicida

e. Solubilidad en agua

PLAGUICIDA	AGUA Y SUELO
Baja solubilidad	<ul style="list-style-type: none"> El plaguicida puede tener afinidad por el suelo y acumularse en éste El plaguicida puede sedimentarse en el suelo en la base de los acuíferos
Alta solubilidad	<ul style="list-style-type: none"> El plaguicida puede tener afinidad por el agua y puede solubilizarse El plaguicida se puede transportar a mantos acuíferos Puede facilitarse la biodegradación del plaguicida

Tabla 8. Solubilidad de un plaguicida en agua

f. Potencial de lixiviación ecuación de Gustaffson (GUS).

POTENCIAL DE LIXIVIACION	CARACTERIZACION
GUS > 2,8	Lixiviable
GUS 2,8 – 1,8	Intermedio
GUS < 1,8	No Lixiviable

Resultados y Análisis

1. Determinación de la Clasificación Química de los Ingredientes Activos

En la **tabla 9** se describen los agroquímicos usados en la Finca Arenas y los cuales persistieron durante los 90 días del estudio realizado por Aguilera & Espinosa en la finca Arenas dedicada al cultivo de fresa, de esta manera se lograron identificar nueve (9) ingredientes activos que son los principales componentes efectivamente del inventario de agroquímicos usados por los agricultores en busca del mantenimiento de sus cultivos de fresa en el municipio de Facatativá incluida la finca Arenas, tal como lo evidenciaron en su investigación los autores anteriormente mencionados.

Ingredientes Activo	Agroquímico	Clasificación	Tipología Química	Formula Química Empírica
Procimidona	SIALEX 50 SC	Fungicida Sistémico	Organoclorado	C13H11Cl2NO2
Azoxystrobine	AZIMUT®320 SC	Fungicida Translaminar	Carbamato	C22H17N3O5
Tetradifon	Imperius	acaricida de contacto	Organoclorado	C12H6Cl4O2S
Carbendazim y Benomil	BELICO 500 SC, Derosal 50 SC, CARBENDAZIM, CROPZIM 500 CS, EVOZIM 500 SC, FORDAZIM, FENIX	Fungicida	Carbamato	C9H9N3O2
Difenoconazole	Monte 500 EC	Fungicida	Organoclorado	C19H17Cl2

Ingredientes Activo	Agroquímico	Clasificación	Tipología Química	Formula Química Empírica
		sistémico		N ₃ O ₃
Epoxiconazole	OPERA	Fungicida sistémico	Organofosforado	C ₁₇ H ₁₃ ClFN ₃ O ₂
Fluopyram	LUNA TRANQUILITY	Fungicida sistémico	Organofosforado	C ₁₆ H ₁₁ ClF ₆ N ₂ O
Prochloraz	DEMINAK, BORDO, Y MIRAGE 45 EC	Fungicida sistémico	Organoclorado	C ₁₅ H ₁₆ Cl ₃ N ₃ O ₂
Tebuconazole	AZIMUT®320 SC	Fungicida sistémico y de Contacto	Organoclorado	C ₁₆ H ₂₂ ClN ₃ O

Tabla 9. Caracterización Química Ingredientes Activos

La fresa es un cultivo altamente susceptible a ser atacado por Hongos por su contenido en glúcidos o hidratos de carbono, alimento energético vital para la gran mayoría de microorganismos de tipo unicelular como las levaduras, ocho de los nueve ingredientes activos objeto de estudio son efectivamente fungicidas, plaguicidas que buscan atacar hongos, también es importante mencionar que de estos ocho Fungicidas seis tienen mecanismo de acción sistémico, lo que significa que su aplicación es directa al suelo para que ingrese directamente al sistema fisiológico de la planta a través de su sistema radicular.

También en la **tabla 1** se evidencia la clasificación química de los ingredientes activos sobresaliendo los Organoclorados ya que 5 de los 9 son de esta tipología, 2 son carbamatos y 2 organofosforados.

Evidentemente a partir de la **tabla 2** se identifican los agroquímicos Organoclorados como los de mayor persistencia en el ambiente frente a los organofosforados y los carbamatos cuyos efectos son más graves en la biota que en el componente abiótico tales como agua, suelo y aire.

2. Variables Físicas del Suelo que Influyen en el comportamiento de los Ingredientes Activos

La caracterización física de los suelos es una importante variable para determinar el comportamiento de los ingredientes activos de agroquímicos en los suelos, la finca Arenas se ha determinado las importantes variables de este tipo que influyen significativamente con el comportamiento de los agroquímicos en cuanto a su distribución, persistencia, movilidad y solubilidad. Estas variables anteriormente mencionadas se estudiarán a partir de la teoría de constantes fisicoquímicas que han sido determinados por varios autores, sin embargo para el contexto del presente artículo se tomarán como referencia a De la Vega (2015) y un estudio realizado por la Corporación Autónoma Regional del Cauca (2010).

En la **tabla 10** se evidencian las propiedades físicas del suelo determinadas en campo en el suelo de la finca Arenas, tal caracterización según Aguilera & Espinosa (2015) fueron determinados in situ teniendo como objetivo su caracterización textural, color y horizontes; tales

análisis permiten concretar la alta incidencia de las arcillas evidenciado en la mayoría de estas variables analizadas y su influencia en comportamiento de persistencia e hidrología.

A. Horizontes y Color	B. Textura				
	Estimación Porcentajes Texturales (%)			Determinación de la clase Textural	
	Horizonte	Arena	Limo	Arcilla	
	Ap	20	30	40	Franco Arcillosa
	Bs	40	40	20	Arcillo Limosa
	Bh	15	25	60	Franco Arenosa
Bw	10	20	70	Arcillosa	
W					

Tabla 10. Caracterización Física in Situ Finca Arenas. Municipio de Facatativá, Cundinamarca.

El apartado A de la tabla 10 evidencia los Horizontes encontrados, a partir de la calicata realizada dentro de la finca Arenas, se lograron identificar 3 horizontes mayores; el **A**, el **B** y el **W**, el primero cuenta con 21,2 cm de ancho y se caracteriza por ser el primero luego del horizonte de materia orgánica y es el suelo utilizado para ser cultivado (Universidad de Murcia, 2010), dentro de los horizontes mayores se encuentran clasificaciones, para el caso corresponde al subíndice **p** ya que se trata de una capa de distribución por arado o similar (SoilSurvey, 1998), ese es efectivamente la característica más significativa presente en la finca Arenas ya que se dedica al cultivo de fresa y las raíces alcanzan la profundidad de los 60 cm.

El siguiente horizonte identificado es el **B** caracterizado por tener rasgos pedológico tales como la acumulación aluvial de arcillas, hierro, aluminio, humus, carbonatos, yeso y/o sílice, remoción de carbonatos y formación de arcilla y/o liberación de óxidos (Kaplan, 2011), este cuenta con 3 Subíndices los cuales en total abarcan 64,3 cm de ancho, en primera instancia se encuentra el **Bs**, cuyo subíndice significa suelo férrico, se caracterizó de esta manera por la presencia de tonalidades rojas otorgados por la segregación del hierro que origina grandes motas o concreciones integradas en una matriz ampliamente decolorada (Universidad de Granada, 2006), el siguiente horizonte es el **Bh**, subíndice que describe que es un suelo húmico, la formación de humificación en los suelos para el caso se relaciona con la composición mineral que caracteriza a el horizonte mayor B, como también al contenido en hierro libre descargado del horizonte superior y su alto contenido en arcilla que permite el desarrollo de humificación fenómeno ligado al empardecimiento (Llorente, 1987), que le otorga la tonalidad parda identificada.

La siguiente subdivisión es el horizonte **Bw**, para este subíndice según Kaplan cuenta con significativas variaciones de color, estructura y/o textura a sus horizontes subyacentes, en la finca Arenas fue evidente dicha variación ya que se tornó con una tonalidad grisácea, este

según Llorente también se caracteriza por ser un suelo en condiciones anaerobias y donde se inicia la saturación de agua , hecho corroborado efectivamente en campo por Aguilera & Espinosa ya que fue desde allí donde se empezó a notar alta presencia de humedad debido a un brote de agua indicando así, el inicio la capa freática, lo que permitió caracterizarlo como un horizonte W; el Soil Survey Staff en su versión de 1998 adicionó el símbolo **W** para indicar la presencia de capas de agua dentro del suelo.

Es de destacar como en la anterior identificación de los horizontes se evidencio que el horizonte mayor B que fue el predominante dentro del suelo objeto de estudio, se logró dar un importante punto de partido para la determinación de la alta incidencia de la presencia de componentes de arcillas compuestas por aleaciones de férricas que generan los óxidos que otorgan los colores grisáceos y naranjas.

Este hecho se corroboro en la caracterización textural ya que tal como se presenta en el **apartado B** de la **tabla 1**, efectivamente en todos los subíndices de los horizontes predominaron los componentes arcillosos. Dicha caracterización fue realizada en campo por metodologías sensitivas del tacto y el oído en húmedo y en seco, los porcentajes más altos de estas texturas identificadas son arcillosas frente a las correspondientes de limos y arenas que son inferiores.

3. Variables Físicas de los Ingredientes Activos

Existen diversas variables físicas que permiten determinar el comportamiento y las vías de degradación, de los ingredientes activos componentes de los agroquímicos, tales variables a analizar a continuación son: Persistencia determinado por la vida media, Coeficiente de adsorción suelo/agua (Koc), Coeficiente de Partición Octanol/Agua (log Kow), Punto de Fusión, Presión de Vapor, Solubilidad en agua, Potencial de lixiviación ecuación de Gustaffson (GUS). A continuación en la **tabla 11** se evidencian los resultados obtenidos a partir de la interrelación con la metodología planteada.

Ingrediente Activo	Tipología Química	Persistencia Suelo Estudio (% degradacion en 90 dias)	Vida media (Dias)	Koc (ml/gr)	Coeficiente de Partición Octanol/Agua (log Kow)	Presion de Vapor (Pa)	Solubilidad en agua (mg/l)	Potencial de lixiviación ecuación de Gustaffson (GUS)
Procimidona	Organoclorado	29	210	199	3,3	2.3×10^{-5}	2,46	3,97
Azoxystrobine	Carbamato	29,3	261,9	304	Null	1.1×10^{-7}	Null	3,7
Tetradifon	Organoclorado	14,28	112	7700	4,61	3.2×10^{-5}	0,05	0,22
Carbendazim y Benomil	Carbamato	37,15	200	200	1,38	1.5×10^{-4}	6	3,8
Difenoconazole	Organoclorado	22,86	456	400	4,36	3.33×10^{-8}	15	3,7
Epoxiconazole	Organofosforado	18,19	918	1464	3,3	1.0×10^{-6}	7,1	4,36
Fluopyram	Organofosforado	1,00	231	278.9	3,3	1.2×10^{-6}	16	3,21
Prochloraz	Organoclorado	42,15	135	500	4,4	7.5×10^{-6}	55	2,85
Tebuconazole	Organoclorado	22,5	365	675	3,7	1.3×10^{-3}	36	5,54

Tabla 11. Constantes Físicas y Químicas de los Ingredientes Activos objeto de Estudio

Es importante mencionar como las variables resaltadas fueron las que presentaron un comportamiento mayormente incidente a la persistencia en el ambiente o factibilidad a permanecer o afectar el componente abiótico del ambiente. A continuación se analizan cada una de estas constantes físicas por ingrediente activo:

a. Persistencia:

Se define como la capacidad de cualquier plaguicida para retener sus características físicas, químicas y funcionales en el medio en el cual es transportado o distribuido, durante un período limitado después de su emisión. Los plaguicidas que persisten más tiempo en el ambiente, tienen mayor probabilidad de interactuar con los diversos elementos que conforman los ecosistemas. Esta viene determinada por la vida media y el tiempo de degradación del estudio de Aguilera & Espinosa, se logró determinar que efectivamente uno de los ingredientes que menos se degradó fue el **Epoxiconazole**, el cual efectivamente a partir de la constante por resolución 0767 del 2015 es el que mayor tiempo de persistencia presenta; los demás se caracterizan como ligeramente y poco persistentes en el ambiente.

Los porcentajes de degradación corroborados para la Finca arenas durante estos 90 días corresponden a las interacciones fotoquímicas y microbiológicas naturales que generaron una pequeña reducción en sus concentraciones.

b. Coeficiente de adsorción suelo/agua (Koc)

Es una medida de la tendencia de un compuesto orgánico a ser adsorbido (retenido) por los suelos o sedimentos, esta es una importante relación que toma como referencia el carbono orgánico presente en el suelo a partir de la materia orgánica presente, sin embargo es una importante propiedad que es específica para cada ingrediente activo y es independiente de las propiedades del suelo, de esta manera es importante establecer que un Koc alto indica que el ingrediente activo se fija con bastante firmeza en la materia orgánica y su movimiento a aguas superficiales y subterráneas es baja.

Se observa en la **tabla 11** que para los ingredientes activos **Tetradifon y Epoxiconazole** el valor del coeficiente relacionado en la normativa (Resolución 104/2012 y Resolución 0767/2015 respectivamente) ha permitido reconocer que es un valor alto, lo que indica una intensidad de absorción en un margen de moderada a fuerte y un dato importante a relacionar, es bastante soluble en la grasa lo que significa su afinidad con estructuras biológicas. De esta manera se establece como estos dos ingredientes activos pueden fijarse en el suelo, sedimentos biota y materia orgánica en general, y la vía de exposición al plaguicida evidentemente se puede evidenciar por la cadena alimenticia.

c. Coeficiente de Partición Octanol/Agua (log Kow)

El Kow proporciona un valor de la polaridad de un plaguicida, es decir la afinidad de los ingredientes activos, este coeficiente permite determinar cuál es el comportamiento de los ingredientes activos en el agua como solvente polar y en el octanol que es apolar con similitud física a la grasas. De esta manera se puede establecer como los ingredientes activos analizados con mayor coeficiente fueron **Tetradifon, Difenoconazole, Prochloraz y Tebuconazole**; esto implica su alta tendencia a la bioacumulación en la materia orgánica presente en el suelo, y su incidencia creciente en la misma acumulación

d. Presión de Vapor

La volatilidad de los ingredientes químicos es una medida determinada por la presión de vapor, factor determinante en la velocidad de volatilización al aire desde el suelo. El comportamiento de esta presión es directamente proporcional con la temperatura. Para este parámetro en el

suelo de la finca Arenas se ha determinado que el ingrediente activo **Difenoconazole** presenta una presión de vapor de 3.33×10^{-8} Pa, lo cual significa su alta potencia en ser retenido en el suelo ya que difícilmente se volatilizaría.

e. Solubilidad en agua

La medida que determina cual es la máxima concentración de un ingrediente activo que se puede disolver en un litro de agua es denominada solubilidad. Dentro de esta variable analizada en los ingredientes activos objeto de estudio es importante destacar el comportamiento analizado para el ingrediente **Procimidona y Tetradifon** ya que juntos presentan una solubilidad, lo que permite identificarlos como potenciales para ser retenidos por el suelo y acumularse en el mismo, a diferencia de los restantes 6 ingredientes activos que presentan alta solubilidad, lo que indica tu alta afinidad por el agua y solubilizarse en ella, evidentemente para la Finca Arenas es un potencial altamente contaminante ya que a tan solo 85,5 cm se encontró la capa freática, es decir es más factible que la mayoría de los ingredientes activos alcancen las aguas subterráneas .

f. Potencial de lixiviación ecuación de Gustafson (GUS).

Este es un Indicador calculado por Gustafson en 1989 que indica el potencial de contaminación por lixiviación de los ingredientes activos a partir de la relación entre la persistencia (Vida media) y la absorción y solubilidad (movilidad), ese índice es específico para ubicar el comportamiento de estos frente a su cercanía a recursos hídricos subterráneos. A partir de este índice se puede que 7 de los 9 ingredientes activos tienen potencial de lixiviación exceptuando al ingrediente **Prochloraz** que tiene calificación intermedia, y **Tetradifon** tiene una baja lixiviación, sin embargo es esta una importante contradicción con lo obtenido en el parámetro de solubilidad explicado anteriormente.

4. Análisis Según Clasificación Química de los Ingredientes Activos y su Relación con las Propiedades del Suelo

La **tabla 12** permite evidenciar la tipología química de los Nueve ingredientes activos objeto de estudio, dentro de los cuales se encuentran cinco Organoclorados, dos organofosforados y dos carbamatos. Según Albert (1990) el plaguicida con categoría toxicológica más alta y con mayor incidencia negativa ambiental es el de tipología Organoclorado con su principal representante el denominado DDT, evidentemente esta tipología es una de las más usadas en los ingredientes activos de los productos agrícolas para el cultivo de fresa . Se considera que los efectos de ingredientes activos organofosforados son en medida expansiva a la bioacumulación, es decir afectan más a componentes bióticos que los abióticos. Adicionalmente los carbamatos en gran parte son ingredientes activos que tienen carácter fungicida y esto se logró evidenciar en el presente estudio, así mismo Blanco (2013) establece que sus efectos negativos son principalmente sobre el hombre específicamente genera daños neurológicos por las toxinas presentes en sus ingredientes activos.

De esta manera se establece que los ingredientes activos que obtuvieron altos valores de clasificación a partir de las constantes físico químicas tomadas a partir de resoluciones aprobadas por el ANLA en cuanto a su alta incidencia de acumulación en el suelo y en su probabilidad creciente de movimiento hacia recursos hídricos subterráneos y superficiales son evidentemente de tipología Organoclorado. Esto es corroborado en que es el componente abiótico específicamente suelo y agua son los que se ven más afectados por el uso de ingredientes activos empleados en la finca Arenas.

Afonso (2011) Analizo el comportamiento de los Plaguicidas a partir de las diferentes fases en las que se encuentren: fase homogénea (medio acuoso) como en fase heterogénea (suelos y/o sedimentos o material particulado). Es por esto que a continuación en la tabla se relaciona el comportamiento que presentan los ingredientes activos acorde a medio en el que se encuentren

FASE HOMOGENEA	FASE HETEROGENEA
<ul style="list-style-type: none"> • La Degradación química es un proceso que requiere un catalizador en esencia dentro de esta fase corresponde al agua, generando hidrolisis que permiten la formación de metabolitos de menor peso molecular pero con igual o diferente grado de toxicidad. • Ejemplos de plaguicidas que sufren este tipo de reacciones son los de las familias de sulfonilureas, carbamatos, ureas y anilinas (Gati- dou y latrou, 2011; Nishiyama y cols, 2010, Tangri y cols 2010), entre otros. <p>La fotodegradación es otra reacción que usa como catalizador la luz solar, esta es denominada Fotolisis, esta es más difícil de determinar en suelos ya que es difícil la penetración directa de la luz solar por follajes e inclusive el mismo cubrimiento de plástico en el cultivo de Fresa</p>	<ul style="list-style-type: none"> • En este los ingredientes activos interactúan con cada una de las partículas y sedimentos presentes en el suelo, especialmente coloides que corresponden a macromoléculas orgánicas (Materia Orgánica). • El fenómeno de interacción entre las partículas mencionadas y el plaguicida se denomina adsorción. • El tiempo de retención está directamente asociado al tiempo de permanencia sobre el material particulado, el sedimento o el suelo, e inversamente con la biodisponibilidad del ingrediente activo • Los minerales secundarios son productos de la meteorización de las rocas y están constituidos por óxidos de hierro, óxidos de aluminio, minerales de arcillas, carbonatos y sulfatos, tal como se evidencio en el suelo presente en la Finca Arenas. De esta manera se estima como el suelo allí presenta extensas áreas superficiales susceptibles de sufrir los procesos de adsorción de los ingredientes activos. • Se estima que el comportamiento para el suelo de la Finca Arenas de los ingredientes activos es que tienen alto potencias para ser retenidos sobre la fase mineral de los suelos disminuyendo su biodisponibilidad para la biodegradación e incrementando el tiempo de permanencia en el suelo.

Tabla 12. Comportamiento de los Ingredientes Activos acorde a la fase. Adaptado de Afonso (2011)

Conclusiones

Los Agroquímicos son compuestos químicos que presentan un riesgo para el componente suelo ya que interfiere en sus procesos metabólicos y bioquímicos ya que de acuerdo con su vida media y facilidad de metabolizarse ya sea por hidrólisis y fotólisis puede ser biodegradado o por el contrario bioacumularse en los coloides y materia orgánica.

Se debe minimizar el uso de aquellos productos que contengan los ingredientes activos **Epoxiconazole**, **Difenoconazole** y **Tebuconazole** ya que son los que presentan la mayor persistencia a partir de la estimación de la vida media determinada en sus respectivas resoluciones de aprobación, adicionalmente los Ingredientes **Tetradifon** y **Fluopyram** ya que a partir del estudio realizado por Aguilera & Espinosa son los ingredientes que fueron corroborados en su diseño experimental con una degradación en 90 días de apenas el 1% y 14%, correspondiente a la degradación más baja de la totalidad de ingredientes analizados.

Cuando aparece una resistencia ante los ingredientes activos se hace necesario incrementar la dosis del plaguicida o bien tratar de sustituirlo por otro con un efecto tóxico diferente, lo que propicia un aumento en la probabilidad de contaminación, es así como en la Finca Arenas se logró determinar que cinco de los nueve Ingredientes activos son Organoclorados, siendo esta tipología la más persistente en el ambiente otorgando una mayor bioacumulación.

El análisis desde la afinidad con sustancias polares determinado por el Coeficiente de Partición Octanol/Agua (log Kow) propicia una mayor capacidad del suelo para retener tales sustancias, adicionalmente el Coeficiente de adsorción suelo/agua (Koc) define el comportamiento que tiene la materia orgánica frente a las sustancias contaminantes; es así como juntos parámetros permitieron establecer la gran significancia del ingrediente activo **Tetradifon** como el mayor componente contaminador al componente suelo.

Tetradifon es el ingrediente Activo de uno de los acaricidas que aplican directamente al suelo en el producto que más demandan los cultivos de fresa en Facatativá denominado Imperius, este es el que obtuvo la más alta calificación en la metodología de análisis planteada, estableciéndose como el prioritario a ser reemplazado por otros acaricidas que cuenten con ingredientes activos de menor persistencia y mayor presión de vapor para volatilizarse ya que el impacto al componente atmosférico sería menor.

Las características físicas texturales dan una viabilidad en el suelo de la Finca Arenas a la acumulación de los ingredientes activos por la presencia de texturas arcillosas que facilitan la adsorción y la presencia de hierro evidenciada en los horizontes lo que aumenta la mineralización que favorece la retención, adicionalmente aumenta el riesgo por contaminación de recursos hídricos subterráneos ya que a solo 85,5 cm inicia la capa freática

Son pocas las investigaciones que se enfocan en estudiar los efectos de diversos tipos de agroquímicos en el componente suelo y mayor aun este déficit en el municipio de Facatativá, de allí radica la importancia de ser partícipes en la planificación ambiental territorial, agrícola y ambiental siendo partícipes en generar conocimientos que sean puntos de partida para buscar alternativas biológicas para potencializar las cosechas dentro del municipio, iniciando por la Asociación de Fresicultores que son en gran extensión los pioneros en el desarrollo agrícola de Facatativá

Este estudio es un punto de partida para determinar que Ingredientes activos tienen un alto potencial de persistencia y movimiento en el suelo generando mayor factibilidad de contaminación, lo que tiene una relación directa de tipo económica, ya que las asimilación de estos compuestos por parte de los coloides del suelo genera probabilidades de infertilidad y la necesidad de un incremento en las implementación de fertilizantes y agregados para generar cosechas rápidamente y de mejor calidad.

La gestión territorial municipal desde su ente gubernamental directo encargados de los direccionamientos ambientales debe proveer recursos para propiciar los estudios en cuanto a contaminación ambiental del suelo, ya que este componente no ha sido concebido como prioritario en acciones preventivas, de esta manera se puede establecer como la sostenibilidad en cultivos a partir de la reducción de los agroquímicos puede propiciar disminuir las inversiones para su sostenimiento

REFERENCIAS

[1] AFONSO Maria Dos Santos. Degradación y Movilidad de los Agroquímicos en Suelos y Aguas Naturales. Casos de Estudio en Argentina. Universidad de Buenos Aires ResearchGate. Cap 28.Enero, 2011.

https://www.researchgate.net/publication/260080493_Degradacion_y_Movilidad_de_los_Agroquimicos_en_Suelos_y_Aguas_Naturales_Casos_de_Estudio_en_Argentina?enrichId=rgreq-3b3fe0fafbccfcc3038f83d3386941b3XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzI2MDA4MDQ5MztBUzozMzMwNzY1MTg0NTczNDRAMTQ1NjQyMzAzODAzOQ%3D%3D&el=1_x_3&esc=publicationCoverPdf

[2] AGUILERA,D & ESPINOSA,P 2015. Evaluación de Carnavalia ensiformis, Taraxacum officinale y Eleusine Indica como potenciales fitorremediadoras del suelo contaminado por plaguicidas en la finca Arenas del municipio de Facatativá. Universidad de Cundinamarca. Facatativa,Cundinamarca.

[3] BLANCO. M & MARQUINA, M. respuestas a la aplicación de carbamatos en dos aislados rizobianos provenientes de mucuchíes, estado mérida, Venezuela. Bioagro 25(2): 117-128. 2013

[4] Clasificación Soil Survey Staff. Abreviaturas Horizontes del Suelo Versión 1998

[5] CRUZ, Nubia. SANCHEZ, Enrique. ORTIZ, Laura. Biosurfactantes y su papel en la biorremediación de suelos contaminados con plaguicidas. En: Revista Latinoamericana de Biotecnología Ambiental y Algal. Vol.4, No 1 (Octubre, 2014);p. 47-67

[6] Corporación Autónoma Regional del Cauca. Características físico-químicas de los plaguicidas y su transporte en el ambiente. Virtual Pro. Residuos peligrosos. Contaminación de Suelos. 2010 < <https://www.revistavirtualpro.com/biblioteca/caracteristicas-fisico-quimicas-de-los-plaguicidas-y-su-transporte-en-el-ambiente>>

[7] DE LA VEGA MARCELO. Constante físico químicas para la interpretación de un boletín técnico de plaguicidas. Agroconsultas. 2015 < <http://agroconsultasonline.com.ar/documento.html/Constante%20f%C3%ADsico%20qu%C3%A>

[Dmicas%20para%20la%20interpretaci%C3%B3n%20de%20un%20bolet%C3%ADn%20t%C3%A9cnico%20de%20plaguicidas%20\(2015\).pdf?op=d&documento_id=617>](http://www.who.int/hq/2003/WHO_CDS_WHOPES_2003.7_spa.pdf)

[8] FAO. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura. En Directrices sobre la gestión de los plaguicidas para la salud pública. OMS. Disponible en:<http://whqlibdoc.who.int/hq/2003/WHO_CDS_WHOPES_2003.7_spa.pdf>.

[9] GARCIA, E. RODRIGUEZ, A. FERNANDEZ, A. y RODRIGUEZ, R. Alternativas Técnicas para la Eliminación de Plaguicidas en el medio ambiente. En: DIPALME. [Diputación Provincial de Almería](http://www.dipalme.org/Servicios/Anexos/anexosiea.nsf/VAnexos/IEA-RP96-c8/$File/RP96-c8.pdf). España. p, 164. [Consultado 05 Marzo 2015] Disponible en [http://www.dipalme.org/Servicios/Anexos/anexosiea.nsf/VAnexos/IEA-RP96-c8/\\$File/RP96-c8.pdf](http://www.dipalme.org/Servicios/Anexos/anexosiea.nsf/VAnexos/IEA-RP96-c8/$File/RP96-c8.pdf)

[10] GUTIERREZ, H & ARREGUI, M. Comportamiento de Herbicidas en Suelos, Agua y Plantas. Revista FAVE. Vol 14. 2000.

JARAMILLO, P. Estudio preliminar sobre los impactos de los agroquímicos en el agua de la quebrada La Arabia y en la salud pública del municipio de Venecia, Antioquia, Colombia. Politécnico Colombiano. 2015

[11] KAPLAN Abraham. Guía para la descripción e interpretación del perfil del Suelo. FAO, 2011.

[12] MONTIEL, M. Uso de agroquímicos en la producción intensiva de piña en Costa Rica. Universidad de Costa Rica - Sede de Occidente Revista Pensamiento Actual - Vol. 15 - No. 25, 2015

[13] M. J. SÁNCHEZ MARTÍN. Los plaguicidas. Adsorción y evolución en el suelo. Instituto de recursos naturales y agrobiología. Temas de divulgación. 1ª edición en 1984

[14] MÜLLER, K. OLIVEIRA, S. DE AVILA, L. BALBINOT, A. FITORREMEDIAÇÃO DE SOLO DE CULTIVO DE ARROZ IRRIGADO CONTAMINADO COM HERBICIDAS DO GRUPO QUÍMICO DAS IMIDAZOLINONAS. En: [VIII Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado](http://www.cbai2013.com.br/cdonline/docs/trab-5116-550.pdf). 2013 [Consultado 29 Marzo 2015] Disponible en <<http://www.cbai2013.com.br/cdonline/docs/trab-5116-550.pdf>>

[15] SÁNCHEZ MARTÍN M. SÁNCHEZ CAMAZANO. Los plaguicidas. Adsorción y evolución en el suelo. Instituto de recursos naturales y agrobiología. Edición electrónica promovida por CeresNet. 1984

[16] STOOORVOGEL, J & JARAMILLO, R. Los plaguicidas: impactos en producción, salud y medio ambiente en Carchi, Ecuador. 2002 PLAGUICIDAS EN EL MEDIO AMBIENTE.

[17] TORRES, D. Agroquímicos un problema ambiental global: uso del análisis químico como herramienta para el monitoreo ambiental. Ecosistemas 13 (3): 2-6. Septiembre 2004. <http://revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/201>

[18] Universidad de Granada EDAFOLOGIA. Clasificación de los Suelos. Universidad de Granada Disponible en <http://edafologia.ugr.es/carto/tema01/wrb06/faowrbhd06.htm>

[19] UPEGUI Sergio. Evaluación de mezclas compost inmaduro/suelo de Moravia y fuentes de nutrientes para la degradación de los pesticidas Clorpirifos, Malatión y Metil paratión. 2010. P,11.