

CONTAMINACIÓN DEL SUELO POR PLAGUICIDAS CARBOFURÁN Y  
ORGANOFOSFORADOS EN UN SISTEMA PRODUCTIVO DE PAPA

ANGELA ARMERO CIFUENTES

DAVID GUERRERO ORTIZ

UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
SAN JUAN DE PASTO

2016

CONTAMINACIÓN DEL SUELO POR PLAGUICIDAS CARBOFURÁN Y  
ORGANOFOSFORADOS EN UN SISTEMA PRODUCTIVO DE PAPA

ANGELA ARMERO CIFUENTES

DAVID CAMILO GUERRERO

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de  
Ingeniero Ambiental

PRESIDENTE

JESUS CASTILLO I.F. Ph D

UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

2016

## **NOTA DE RESPONSABILIDAD**

“Las ideas y conclusiones aportadas en el siguiente trabajo son responsabilidad exclusiva de los autores”

Artículo 1ro del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966 emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Firma del Presidente de tesis

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

San Juan de Pasto, Agosto de 2016

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por darnos fortaleza y permitirnos culminar con esta etapa de nuestra vida.

A nuestros padres por apoyarnos y ser nuestro modelo a seguir.

A la comunidad de La Laguna por su colaboración y disponibilidad para llevar a cabo nuestra investigación.

Al doctor Jesús Castillo por guiar este largo proceso investigativo.

A nuestros asesores de tesis, Diana Morales y David Arturo por su tiempo y colaboración.

A nuestros compañeros de vida Joanna y José Luis por su apoyo incondicional.

A Diana y Cristian, nuestros compañeros de tesis por su apoyo y colaboración durante el proceso de investigación.

A nuestros compañeros y amigos por los momentos compartidos.

## **DEDICATORIA**

A Dios por iluminar mi camino y permitirme culminar con esta etapa de mi vida, conocer personas muy valiosas y aprender de cada momento.

A Isaura, mi madre, a una guerrera, mi ejemplo, mi compañera y mejor amiga, la razón de mi existencia y de cada uno de mis logros, a su amor, comprensión y ternura.

A Fredy, mi padre por apoyarme y motivarme a cumplir con mis sueños.

A mi familia por su amor, calidez y estar siempre pendiente de mí.

A José Luis por su apoyo incondicional, sus palabras de aliento, paciencia, comprensión y por compartir muchos momentos conmigo.

A mis amigos Mabeth, María, Anyeli, Nataly, Erika, Alejandra, Jonathan y compañeros que han contribuido en mi crecimiento personal y profesional.

## **DEDICATORIA**

A mi familia, la ternura de mi madre y el carácter de mi padre, la incondicionalidad de mis hermanos y la inocencia de mis sobrinos.

A todos mis familiares que siempre me brindaron su fuerza y buena energía.

A mis compañeros y amigos, que a pesar de todas las adversidades siempre estuvieron firmes conmigo.

A mi compañera de lucha, Angela Armero, por su paciencia y dedicación.

A mi director de tesis Jesús Castillo y asesores Diana Morales y David Arturo, que gracias a ellos todo esto fue posible.

Pero sobre todo a mi amada compañera de vida Joanna Cerón y mi hermoso hijo David Alejandro, que gracias a ellos, su apoyo, comprensión, paciencia, cariño y amor, la meta fue alcanzada. ¡Sin ellos nada hubiera sido posible! Infinitas gracias...

# CONTAMINACIÓN DEL SUELO POR PLAGUICIDAS CARBOFURÁN Y ORGANOFOSFORADOS EN UN SISTEMA PRODUCTIVO DE PAPA

## SOIL POLLUTION BY CARBOFURAN AND ORGANOPHOSPHORUS PESTICIDES IN A PRODUCTION SYSTEM OF POTATO

Angela María Armero<sup>1</sup>; David Camilo Guerrero<sup>2</sup>; Jesús Castillo<sup>3</sup>

### RESUMEN

El estudio se realizó en un sistema productivo de papa del municipio de Pasto, sometido a diferentes tratamientos. El diseño experimental correspondió a bloques completamente al azar de efectos fijos (BCA) con 4 tratamientos y 3 repeticiones, para un total de 12 unidades experimentales. Los tratamientos fueron los siguientes: tecnificado (T1), tradicional (T2), pasturas (T3) y suelo desnudo (T4). Se realizó el análisis físico de suelos en los tratamientos, evidenciando un estado de degradación del suelo. Además, se realizó el análisis químico mediante cromatografía de gases con detector selectivo de masas utilizando el método 8141<sup>a</sup> EPA, para la identificación y cuantificación de los plaguicidas carbofurán y organofosforados. Los tratamientos que presentaron la mayor concentración de plaguicidas fueron T2 y T3 debido a la alta intervención antrópica. Además, el T2 reportó la mayor pérdida de suelo con 652,29kg/ha. Por otro lado, el T1 presentó el valor más alto de carbofurán (1,23mg/kg), el T2 (1,21 mg/kg) y T4 (0,37 mg/kg). Con respecto al malatión reportó 0,08 mg/kg, 0,70 mg/kg y 0,55 mg/kg para T1, T2 y T4 respectivamente. Los niveles más bajos se presentaron con el plaguicida clorpirifos, con valores de 0,15 mg/kg y 0,09 mg/kg para T1 y T2, el T4 no se detectó. En contraste, el T3, presentó elevados valores de concentración de 1,14 mg/kg, 1,57 mg/kg y 0,39 mg/kg para carbofurán, malatión y clorpirifos respectivamente. En todos los tratamientos la concentración de carbofurán y malatión sobrepasa el límite máximo de residuos establecido por la EPA y la EU.

**PALABRAS CLAVE:** cultivo de papa, erosión, límites máximos residuales.

---

<sup>1</sup> Estudiante Ingeniería Ambiental, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia, anggela9286@hotmail.com

<sup>2</sup> Estudiante Ingeniería Ambiental, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia, dagobrs@hotmail.com

<sup>3</sup> Profesor asociado. I.A. Ms. C. PhD. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, Colombia, jacfl1995@gmail.com

## ABSTRACT

The study was conducted in a potato production system in the municipality of Pasto, subjected to different treatments. The experimental design corresponded to a randomized complete block of fixed effects with 4 treatments and 3 repetitions, for a total of 12 experimental units. The treatments were as follows: technicized (T1), traditional (T2), pastures (T3) and bare soil (T4). A soil physical analysis was performed in treatment, showing a state of soil degradability. Furthermore, chemical analysis was performed by gas chromatography with mass selective detector using the EPA method 8141, for the identification and quantification of pesticides carbofuran and organophosphorus. Treatments that had the highest concentration of pesticides were T2 and T3 due to high human intervention. In addition, the T2 reported the biggest loss of soil with 652,29kg/ha. On the other hand, the T1 had the highest value of carbofuran (1,23mg/kg), T2 (1.21 mg/kg) and T4 (0.37 mg/kg). With respect to malathion, it reported 0.08 mg/kg, 0.70mg/kg and 0.55 mg/kg for T1, T2 and T4 respectively. The lowest levels were presented with pesticide chlorpyrifos, with values of 0.15 mg/kg and 0.09 mg/kg for T1 and T2, T4 no detected. In contrast, T3 presented higher concentration values of 1.14 mg/kg, 1.57 mg/kg and 0.39 mg/kg to carbofuran, malathion and chlorpyrifos respectively. In all treatments the concentration of carbofuran and malathion exceeds the maximum residue limit established by the EPA and the EU.

**KEY WORDS:** potato crop, erosion, maximum residue levels.

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	8
INTRODUCCIÓN.....	17
MATERIALES Y MÉTODOS .....	18
Localización.....	18
Descripción del estudio.....	19
Diseño experimental .....	20
Análisis estadístico .....	20
Distribución del tamaño de agregados del suelo en seco (Kemper y Rosenau, 1986) modificado. Metodología Shaker.....	21
Análisis por cromatografía de gases acoplado a masas GC-MS .....	21
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
Normatividad asociada al uso de plaguicidas.....	22
Análisis propiedades físicas del suelo .....	22
Identificación y cuantificación de plaguicidas.....	27
CONCLUSIONES.....	31
RECOMENDACIONES .....	32
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	32

## TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Tratamientos manejados en el estudio.....	20
<b>Tabla 2.</b> Metodología para el análisis de plaguicidas Carbofurán y Organofosforados.....	20
<b>Tabla 3.</b> Valores promedio de las propiedades físicas del suelo. ....	23
<b>Tabla 4.</b> Valores estadísticos de las propiedades físicas del suelo .....	24
<b>Tabla 5.</b> Calificación Diámetro Ponderado Medio .....	25
<b>Tabla 6.</b> Cantidad de suelo erosionado .....	26
<b>Tabla 7.</b> Plaguicidas identificados. ....	27
<b>Tabla 8.</b> Compuestos residuales. ....	27

## FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Distribución de agregados en seco.....	26
<b>Figura 2.</b> Concentración de los plaguicidas en cada tratamiento. ....	28

## GLOSARIO

**Adsorción:** un proceso por el cual átomos, iones o moléculas son atrapados o retenidos en la superficie de un material en contraposición a la absorción, que es un fenómeno de volumen, es decir, es un proceso en el cual por ejemplo un contaminante soluble (adsorbato) es eliminado del agua mediante el contacto con una superficie sólida (adsorbente). El proceso inverso a la adsorción se conoce como desorción.

**Agregados:** la estructura del suelo se define por la forma en que se agrupan las partículas individuales de arena, limo y arcilla. Cuando las partículas individuales del suelo se agrupan, toman el aspecto de partículas mayores y se denominan agregados.

**Agroquímicos:** sustancias químicas muy utilizadas en la agricultura, cuyo objetivo principal es mantener y conservar los cultivos. Pero en el afán de cumplir con este objetivo, muchas veces se pierde de vista los efectos nocivos que éstos pueden provocar.

**BCA:** El diseño de bloques completamente al azar, (BCA) es un diseño ampliamente utilizado a campo en centros experimentales agronómicos. Es ideal para evaluar variedades, distancias de siembra, control de plagas, etc. Este diseño permite controlar al menos el principal gradiente de error que posee el área experimental.

**Carbofurán:** uno de los pesticidas de carbamato más tóxicos. Se comercializa mediante la marca registrada Furadán. Es usado para el control de plagas de insectos en una abundante variedad de cultivos, que incluyen papa, maíz y soja. Es un insecticida sistémico, lo que significa que la planta lo absorbe mediante las raíces y que desde allí lo distribuye al resto de sus órganos, donde se alcanzan las mayores concentraciones del insecticida.

**Contaminación:** se denomina a la presencia en el ambiente de cualquier agente químico, físico o biológico nocivos para la salud o el bienestar de la población, de la vida animal o vegetal. Esta degradación del medio ambiente por un contaminante externo puede provocar daños en la vida cotidiana del ser humano y alterar las condiciones de supervivencia de la flora y la fauna.

**Cromatografía:** método de análisis que permite la separación de gases o líquidos de una mezcla por adsorción selectiva, produciendo manchas diferentemente coloreadas en el medio

adsorbente; está basado en la diferente velocidad con la que se mueve cada fluido a través de una sustancia porosa.

**Degradación:** se define como la pérdida absoluta de la capa superficial del suelo y sus nutrientes, causando un cambio en el estado del suelo resultando en una disminución de la capacidad del ecosistema para producir bienes o prestar servicios para sus beneficiarios.

**EPA:** Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. (Environmental Protection Agency, por sus siglas en inglés). Es una agencia del gobierno federal de Estados Unidos encargada de proteger la salud humana y proteger el medio ambiente: aire, agua y suelo.

**Erosión:** es la pérdida del suelo, principalmente por factores como las corrientes de agua y de aire, en particular en terrenos secos y sin vegetación, además de factores antrópicos y otros. La erosión del suelo reduce su fertilidad porque provoca la pérdida de minerales y materia orgánica.

**Escorrentía:** la escorrentía superficial describe el flujo del agua, lluvia, nieve, u otras fuentes, sobre la tierra y es un componente principal del ciclo del agua.

**EU:** Unión Europea (European Union, por sus siglas en inglés). La Unión Europea es una comunidad política de derecho constituida en régimen sui generis de organización internacional nacida para propiciar y acoger la integración y gobernanza en común de los Estados y los pueblos de Europa.

**Fertilizantes:** un fertilizante o abono, es cualquier tipo de sustancia orgánica o inorgánica que contiene nutrientes en formas asimilables por las plantas, para mantener o incrementar el contenido de estos elementos en el suelo, mejorar la calidad del sustrato a nivel nutricional, estimular el crecimiento vegetativo de las plantas, etc.

**Fotólisis:** la fotólisis es la ruptura de enlaces químicos por causa de energía radiante. Se llama fotólisis o fotolisis, fotodisociación, o fotodescomposición a la disociación de moléculas orgánicas complejas por efecto de la luz, y se define como la interacción de uno o más fotones con una molécula objetivo.

**Franco:** se suele denominar suelo franco a las partes superficiales del terreno cuya composición cuantitativa está en proporciones óptimas o muy próximas a ellas. Es suelo de elevada productividad agrícola, en virtud de su humedad, textura y fertilidad. Aunque la composición del suelo franco puede variar ligeramente, se pueden considerar uniformes las proporciones porcentuales entre arenas, limos y arcillas.

**Fungicida:** sustancia tóxica que se emplea para impedir el crecimiento o eliminar los hongos y mohos perjudiciales para las plantas, los animales o el hombre. Todo fungicida, por más eficaz que sea, si se utiliza en exceso puede causar daños fisiológicos a la planta.

**Herbicida:** es un producto fitosanitario utilizado para eliminar plantas indeseadas. Algunos actúan interfiriendo con el crecimiento de las malas hierbas y se basan frecuentemente en las hormonas de las plantas.

**Hidrólisis:** es una reacción química entre una molécula de agua y otra molécula, en la cual la molécula de agua se divide y sus átomos pasan a formar parte de otra especie química. Esta reacción es importante por el gran número de contextos en los que el agua actúa como disolvente.

**Insecticida:** es un compuesto químico utilizado para matar insectos. El origen etimológico de la palabra insecticida deriva del latín y significa literalmente matar insectos. Es un tipo de biocida. Los insecticidas tienen importancia para el control de plagas de insectos en la apicultura o para eliminar todos aquellos que afectan la salud humana y animal.

**Kikuyo (pasto):** *Pennisetum clandestinum* es una especie perenne tropical de Poaceae con varios nombres comunes, kikuyo, grama gruesa, pasto africano, que proviene de la región de África Oriental. Posee rápido crecimiento por lo que se lo categoriza como una maleza en algunas regiones. Sin embargo, es muy usada como pastura de ganadería, con calidad baja, pero muy rica en proteína.

**Labranza:** es la operación agrícola consistente en trazar surcos más o menos profundos en la tierra con una herramienta de mano o con un arado. La acción de labrar la tierra mediante un arado es referida como arar.

**Lixiviación:** o extracción sólido-líquido, es un proceso en el que un disolvente líquido pasa a través de un sólido pulverizado para que se produzca la disolución de uno o más de los componentes solubles del sólido.

**Organofosforados:** un compuesto organofosforado o compuesto de organofósforo es un compuesto orgánico degradable que contiene enlaces fósforo-carbono (excepto los ésteres de fosfato y fosfito), utilizados principalmente en el control de plagas como alternativa a los hidrocarburos clorados que persisten en el ambiente.

**Parcela:** la palabra parcela proviene del francés parcelle y hace referencia a una pequeña porción de terreno (proveniente de otro más grande) que puede ser utilizada para diferentes motivos.

**Pendiente:** es un declive del terreno y la inclinación, respecto a la horizontal de una vertiente.

**Piretroides:** son moléculas con actividad insecticida que se aplican a cosechas, plantas de jardines, animales domésticos y también directamente a seres humanos. Los piretroides son sustancias químicas que se obtienen por síntesis y poseen una estructura muy parecida a las piretrinas. Generalmente son compuestos más tóxicos para los insectos y también para los peces.

**Plaguicida:** es cualquier sustancia destinada a prevenir, destruir, atraer, repeler o combatir cualquier plaga, incluidas las especies indeseadas de plantas o animales, durante la producción, almacenamiento, transporte, distribución y elaboración de alimentos, productos agrícolas o alimentos para animales, o que pueda administrarse a los animales para combatir ectoparásitos.

**Rotavapor:** es un aparato de destilación rotatorio asociado a un baño María que es usado principalmente en laboratorios de síntesis químicas, investigaciones en Bioquímica y análisis químico cualitativo. Se utiliza principalmente para separar por medio de evaporación a presión reducida y suave, el solvente que acompaña al soluto de interés; o bien, para realizar destilaciones fraccionadas.

**Sedimentación:** es el proceso por el cual el sedimento en movimiento se deposita. Un tipo común de sedimentación ocurre cuando el material sólido, transportado por una corriente de

agua, se deposita en el fondo de un río, embalse, canal artificial, o dispositivo construido especialmente para tal fin. Toda corriente de agua, caracterizada por su caudal, tirante de agua, velocidad y forma de la sección tiene una capacidad de transportar material sólido en suspensión y otras moléculas en disolución.

**Sonicador (ultrasonido):** la sonicación es el acto de aplicación de la energía del sonido (generalmente ultrasonidos) para agitar las partículas de una muestra, con diversos fines científicos o industriales.

**Surco:** hendidura que se hace en la tierra del cultivo con el arado.

**Tamiz:** utensilio que se usa para separar las partes finas de las gruesas de algunas cosas (suelo) y que está formado por una tela metálica o rejilla tupida que está sujeta a un aro.

**Textura:** la textura del suelo es la proporción en la que se encuentran distribuidas variadas partículas elementales que pueden conformar un sustrato. Según sea el tamaño, porosidad o absorción del agua en la partícula del suelo o sustrato, puede clasificarse en 3 grupos básicos que son: la arena, el limo y las arcillas.

**Vial:** es un pequeño vaso, botella o frasco destinado a contener medicamentos inyectables, del cual se van extrayendo las dosis convenientes. Fabricados en vidrio o plástico, sirven para almacenar medicamentos o reactivos en presentación de líquidos, polvos o cápsula. También se puede utilizar como recipientes de muestras, por ejemplo, en dispositivos de cromatografía analítica.

## INTRODUCCIÓN

El control químico es el más empleado para el control de plagas debido a su rapidez de acción; hecho que redundaría en un mayor aseguramiento de la producción de alimentos, pero a un alto costo ambiental y de salud pública. Investigaciones del impacto de los plaguicidas en la vida silvestre señalan que éstos tienen efecto en la reproducción, crecimiento, desarrollo neurológico, comportamiento y en el funcionamiento del sistema endocrino e inmunológico de seres vivos (Vásquez y Landeros, 2009).

Con respecto a los agroquímicos, en el país se aplican 499,4Kg de fertilizantes de síntesis química por cada hectárea cultivada, mientras que el promedio en América Latina es de 106,9Kg. El resultado de este exceso es mayor erosión de los suelos y menor productividad (Uribe, 2013). Además los campesinos utilizan diversos agroquímicos para contrarrestar las plagas que afectan sus cultivos, pero el uso inadecuado y desmedido de estos productos trae consecuencias negativas tanto para el ambiente como para el recurso suelo. Estos plaguicidas en su mayoría (especialmente insecticidas y fungicidas) pertenecen a la categoría I (extremadamente peligrosos) y aun así, son manejados y aplicados sin mínimas precauciones de seguridad. Entre ellos, el grupo químico de los organofosforados es el más ampliamente usado, con un 40% a 50% del mercado, seguido por los piretroides y carbamatos (FONTAGRO, 2011).

En el departamento de Nariño se produce el 15.3% de la producción nacional de Papa, correspondiente a 18.9 Ton/Ha para el año 2014 según el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y según el Acuerdo de Competitividad de la Cadena Agroalimentaria de la Papa, ésta es el producto de origen agrícola que posee la mayor demanda por fungicidas e insecticidas y la segunda de fertilizantes químicos, después del café, esto influye en la economía del agricultor, donde los costos directos de producción de papa corresponden en 50% al uso de agroquímicos, distribuidos en fertilizantes (25%), insecticidas (18%) y fungicidas (7%) (Borráez, 2011).

Por otro lado, en el departamento de Nariño, el diagnóstico, la vigilancia y el monitoreo de agroquímicos no se ha implementado de manera eficaz, siendo muy pocos los estudios

relacionados con la contaminación del suelo por plaguicidas en Colombia y en Nariño, dificultando el establecimiento de una línea base que determine los valores límites permisibles de plaguicidas en el suelo (Silva y Correa, 2009).

Asimismo, en el corregimiento de la Laguna, los productores de papa emplean agroquímicos en grandes cantidades, como los plaguicidas para controlar el gusano blanco, la polilla guatemalteca y la gota. Según el panorama descrito, el objetivo de la investigación fue analizar la degradación del suelo por plaguicidas en un sistema productivo de papa, principalmente atendiendo a las grandes cantidades de agroquímicos que se utilizan, para ello, se evaluaron plaguicidas como el carbofurán y organofosforados en muestras de suelo, mediante un análisis especializado en parcelas diseñadas para tal fin y se valoraron algunas propiedades físicas del suelo, para establecer su influencia en los procesos de sedimentación y los niveles de contaminación generados por el uso de estos plaguicidas.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Localización**

El estudio se realizó en el corregimiento de San Pedro de la Laguna, situado a una distancia de 10 km al oriente del municipio de Pasto. El corregimiento se ubica a 1° 10' y 1° 15' Latitud Norte 77° 10' y 77° 15' Longitud Oeste. Sus límites son Norte: corregimiento de Cabrera y municipio de Buesaco, Sur: corregimientos de Catambuco y El Encano, Oriente: corregimiento de El Encano y Occidente: perímetro urbano de Pasto. Su altura es de 2800 m.s.n.m. y una temperatura promedio de 8°C, su territorio de 12 km<sup>2</sup> posee 6 veredas. Las unidades muestrales se ubicaron en las veredas: Laguna Centro, San Luis y Aguapamba.

Laguna centro es el poblado del corregimiento donde está concentrada la mayor parte de la población, Aguapamba se encuentra ubicada a 1,5 km de la cabecera corregimental, está conformada por 1.500 habitantes aproximadamente, sus principales fuentes de ingresos son la agricultura cultivos de papa, de cebolla, repollo, fresa y cría de especies menores y San Luis se localiza a 1 km de la cabecera corregimental está conformada por 1.000 habitantes aproximadamente, sus principales fuentes de ingresos están basados en las actividades agropecuarias (Alcaldía de Pasto, 2013).

## **Descripción del estudio**

El estudio se llevó a cabo en parcelas de campo sobre pendientes uniformes de promedio 55%, característicos de esta zona, con suelos profundos, bien a deficientemente drenados y de fertilidad moderada, es decir, en parcelas de escorrentía. Según Castillo (1994), la parcela de escorrentía es un área regular cuyo perímetro se limita adecuadamente, con el fin de concentrar las aguas de escorrentía de dicha área en un sitio común de drenaje, simulando una microcuenca hidrográfica.

Este tipo de parcelas, se utilizan para medir el agua de escorrentía que se produce después de los eventos pluviométricos, así mismo, se puede medir el transporte de erodados (suelo), la pérdida de nutrimentos, efecto residual de plaguicidas o para determinar algunos parámetros hidrográficos. En general, su aplicación se puede extender a determinar factores que incidan sobre el manejo de una cuenca hidrográfica (Castillo, 1994).

Las parcelas fueron delimitadas por láminas de aluminio, tablas de madera y surcos adecuadamente construidos permitiendo la separación del área regular. Las láminas y tablas de madera se ubicaron con 15 cm sobre la superficie y 15 cm bajo la misma, para un adecuado soporte. En la parte inferior de la parcela se instalaron canaletas, o trampas como canal colector de suelo erodado (Castillo, 1994).

Para la toma de muestras se recogió y pesó el suelo recolectado en cada canaleta, tomando una muestra representativa de 900g-1000g, la cual fue trasladada en una nevera de icopor para ser refrigerada. Por último se llevó la muestra al laboratorio de física de suelos para su secado en bandejas de aluminio rotuladas.

Finalmente la extracción de los plaguicidas se realizó con una muestra de 5g de suelo a la cual se adicionó 50mL de Hexano:Acetona 8:2 como solvente de extracción, empleando el método de extracción asistida por sonicación, para ello se empleó un sonificador Fisher FS20H. El tiempo de extracción fue durante 20min por 3 intervalos de tiempo. Luego la muestra se filtró, rotuló y tapó en erlenmeyers para concentrarlas en un equipo rotavapor y posteriormente conservarlas en vial ámbar a 4°C para inyectarlas en el cromatógrafo (Tabla 2).

## Diseño experimental

Las unidades productivas fueron sometidas a determinado uso y manejo (parcelas cultivadas) y corresponden a 6 surcos de papa (5m de ancho) y dos surcos de bordes laterales, con una longitud de 12m de largo. Se toma como factor de estudio el manejo de cultivo de papa en la zona y el diseño corresponde a bloques completamente al azar de efectos fijos (BCA) con 4 tratamientos y tres repeticiones, para un total de 12 unidades experimentales. Se determinó como variable de respuesta la concentración de plaguicidas clorpirifos, carbofurán y malatión en cada uno de los tratamientos. Los tratamientos corresponden a manejo del cultivo de papa de la siguiente manera:

**Tabla 1.** Tratamientos manejados en el estudio.

Tratamiento	Definición
T1	Aplicación de agroquímicos tecnificada
T2	Aplicación de agroquímicos convencional (alto nivel de agroquímico)
T3	Pasturas después de 2 periodos del cultivo de papa
T4	Suelo desnudo posterior a dos periodos de cultivo de papa

## Análisis estadístico

Los datos fueron sometidos al análisis de varianza (ANOVA) mediante el programa estadístico SAS (Statistical Analysis System), para determinar la existencia de diferencias significativas entre tratamientos, además se efectuó la prueba de Tukey para la comparación de medias poblacionales.

Por otro lado, la metodología para el análisis químico de los plaguicidas carbofurán y organofosforados en muestras de suelo se puede observar en la tabla 2.

**Tabla 2.** Metodología para el análisis de plaguicidas Carbofurán y Organofosforados.

Plaguicidas	Metodología de análisis
Carbofurán	Extracción solido-líquido empleando una mezcla de Hexano:Acetona (8:2) grado cromatográfico, como solvente de extracción y posterior limpieza con extracción en fase sólida empleando cartuchos de carbón grafitado. Los extractos finales se analizaron en el equipo de Cromatografía de Gases acoplado a espectrometría de masas (CG-EM) en las condiciones implementadas en los laboratorios especializados de

---

la Universidad de Nariño. (Cabrera *et al*, 2006).

**Organofosforados** Metodo EPA 8141<sup>a</sup>. Extracción con Ultrasonido 3550C con modificaciones. Extracción solido-líquido empleando una mezcla de Hexano:Acetona (8:2), grado cromatográfico, como solvente de extracción y posterior limpieza del extracto mediante extracción en fase sólida SPE usando como adsorbente C18. El análisis se realizó por cromatografía de gases con detector de masas GC-MS a las condiciones de análisis de los laboratorios de la Universidad de Nariño.

---

### **Distribución del tamaño de agregados del suelo en seco (Kemper y Rosenau, 1986) modificado. Metodología Shaker**

Las muestras de suelo fueron tomadas de las diferentes repeticiones de cada tratamiento y colocadas en bolsas plásticas para ser transportadas en una nevera de icopor, evitando que sean disturbadas. Sobre bandejas de aluminio fueron secadas al aire (8-15 días) en el laboratorio de física de suelos de la Universidad de Nariño. Para el análisis físico se colocaron cuidadosamente sobre un juego de tamices, ubicados en orden descendente por tamaño de abertura (6,3mm, 4mm, 2mm, 1mm, 0,5mm, 0,25mm y >0,25mm) en un agitador mecánico, en el que después de 10 minutos de agitación, fueron pesados los agregados distribuidos en cada tamiz.

### **Análisis por cromatografía de gases acoplado a masas GC-MS**

El análisis se realizó empleando la técnica de cromatografía de gases con detector selectivo de masas usando un equipo GC-MS SHIMADZU QP2010S, las condiciones de analisis fueron, Columna DB-5MS (30m X 0,25mm x 0,25µm), temperatura del Inyector 250°C, modo de inyección *splitless*, detector modo *full scan*, interfase a 300°C, flujo de Fase móvil Helio UAP a 1,0mL/min.

La Identificación y cuantificación se realizó empleando estándares de POFs y carbofurán (Restek, Bellefonte y Chemservice-Supelco) analizados a las mismas condiciones operacionales y Espectros de Masas de las bases de datos NIST y WILEY PESTICIDES.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Normatividad asociada al uso de plaguicidas**

El suelo es un componente esencial del ambiente en el que se desarrolla la vida; es vulnerable, de difícil y larga recuperación (tarda desde miles a cientos de miles de años en formarse), y de extensión limitada, por lo que se considera un recurso natural no renovable. El uso inadecuado de este recurso trae como consecuencia la imposibilidad de hacer un uso óptimo del suelo en la agricultura, la ganadería, la recreación, entre otros (FAO, 2015).

Por tal razón, es necesario acudir a políticas públicas y estrategias de regulación, que permitan disminuir el impacto ambiental negativo que se produce sobre el suelo y generar una conciencia sobre la importancia de conservar los recursos naturales presentes en el medio (Silva y Correa, 2009).

A nivel nacional e internacional se han realizado aproximaciones a la protección y conservación del recurso suelo, mediante la creación de leyes, decretos, tratados y convenios que han logrado de cierta forma, conciencia sobre la importancia de la preservación de este recurso, sin embargo, existen múltiples fallas en su implementación, debido a la falta de normatividad que reglamente específicamente todas las actividades sobre el manejo del suelo, su aplicación y regulación.

De esta manera, Silva y Correa (2009), afirman que en Colombia hay una débil capacidad institucional en el diseño y aplicación de instrumentos normativos y económicos al respecto, por lo que puede afirmarse que no existe un verdadero proceso de regulación de la contaminación del suelo en el país.

### **Análisis propiedades físicas del suelo**

Teniendo en cuenta el análisis físico del suelo, la pendiente (55%) y considerando la intensa labor agropecuaria sobre la zona de estudio, los valores arrojados por el laboratorio de física de suelos correspondientes a textura, densidad aparente y porosidad total denotan que el suelo se encuentra en un estado de degradación progresiva.

Como se puede apreciar en la tabla 3, los valores evidencian un aparente “estado favorable del suelo” ya que el bajo valor en la densidad aparente y alto en porosidad total, son indicadores de baja compactibilidad y por lo tanto, de bajo impacto en la disponibilidad de agua para las plantas del cultivo desde el suelo, el crecimiento de raíces y el movimiento de aire y agua a través del suelo, sin afectar el crecimiento de los cultivos ni la susceptibilidad a la erosión (Shaxon y Barber, 2005).

Sin embargo, los valores de textura expresan lo contrario, el proceso de cambio de textura de mediana a gruesa (suelo franco a franco arenoso), es síntoma de degradación del suelo, debido a que las arcillas se erodan fácilmente y por ende las propiedades físicas y químicas que se encuentran compensadas en suelos francos, se pierden en la transición, haciendo los suelos inertes desde el punto de vista químico, disminuyendo sus propiedades coloidales y de reserva de nutrientes (Bruand., *et al.* 2004). Por lo tanto, estos suelos presentan mala estructuración y poca retención de agua, lo que representa un alto grado de permeabilidad de químicos en el suelo y posterior escorrentía en eventos de lluvia y erosión (Suárez, 2001).

**Tabla 3.** Valores promedio de las propiedades físicas del suelo.

<b>Tratamiento</b>	<b>Textura</b>	<b>DA (g/mL)</b>	<b>DR (g/mL)</b>	<b>Porosidad total (%)</b>
<b>T1</b>	F*, F – A***	0,62	2,27	72,70
<b>T2</b>	F, F – A	0,65	2,27	71,47
<b>T3</b>	F, F – A	0,62	2,10	70,69
<b>T4</b>	F, F – A	0,64	2,26	71,77

F\* : Franco, F – A\*\*\* : Franco Arenoso

Cabe resaltar que la textura del suelo es un parámetro determinante en la movilidad de los líquidos (hidrodinámica), pues de la textura dependen condiciones de impermeabilidad o permeabilidad, de acuerdo a su contenido de arcilla, limo o arena. Así mismo, la textura influye en el lixiviado o percolación del plaguicida hacia el agua subterránea (Jiménez y Santos, 2008).

En este sentido, el clorpirifos y malatión son moderadamente móviles (FAO, 2000) mientras que el carbofurán es muy móvil en suelos franco arenosos, franco limosos y limo arcillosos; (INECC 2013). Por lo tanto, la textura franco arenosa del suelo de los tratamientos estudiados demuestra que puede darse fácilmente la percolación de este plaguicida, ya que según

Jiménez y Santos (2008) a mayor tamaño de partículas, mayor facilidad para el lixiviado o percolación de plaguicidas disueltos en agua, considerándose un peligro significativo de contaminación para las aguas subterráneas.

En contraste, el análisis de varianza indica que existe una relación altamente significativa en los valores de las propiedades físicas del suelo: densidad aparente, densidad real y porosidad entre los tratamientos como lo indica la tabla 4, por lo tanto estas propiedades en las parcelas experimentales no difieren estadísticamente.

**Tabla 4.** Valores estadísticos de las propiedades físicas del suelo

<b>Variable de respuesta</b>		<b>DA, DR,POROSIDAD TOTAL</b>		
<b>Tipo III Tests de efectos fijos</b>				
<b>Efecto</b>	<b>Num DF</b>	<b>Den DF</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
<b>Trt</b>	4	24	Infty	<.0001
<b>Trt*bloqu</b>	8	24	Infty	<.0001

La porosidad es una propiedad del suelo que determina directamente la dinámica de un plaguicida, porque la movilidad de este es directamente proporcional a la porosidad del suelo (Jiménez y Santos, 2008). Igualmente, Castillo *et al*, (2004) afirma que el transporte rápido, a veces impredecible de agroquímicos en el suelo es causado por su movimiento a través de los poros con el arrastre del agua.

En cuanto a la distribución de agregados, el valor del DMP del suelo de las parcelas cultivadas con papa y pasto se encuentra dentro del rango de 0,5-1,5 (según tabla 5) caracterizado por ser un suelo ligeramente estable pero con tendencia a la inestabilidad, mientras que el suelo del tratamiento testigo (T4) es inestable, principalmente atribuido a la ausencia de cobertura vegetal. Al respecto, García (2004) afirma que la eliminación de la vegetación es la principal causa de degradación del suelo, porque el suelo queda desnudo y

sufre las consecuencias del impacto de las gotas de lluvia y del aumento de la escorrentía, produciéndose una pérdida neta de suelo y de su capacidad de mantener la vida.

**Tabla 5.** Calificación Diámetro Ponderado Medio

<b>DMP (mm)</b>	<b>Interpretación</b>
<b>&lt; 0,5</b>	Inestable
<b>0,5 – 1,5</b>	Ligeramente Estable
<b>1,5 – 3,0</b>	Moderadamente Estable
<b>3,0 – 5,0</b>	Estable
<b>&gt; 5,0</b>	Muy Estable

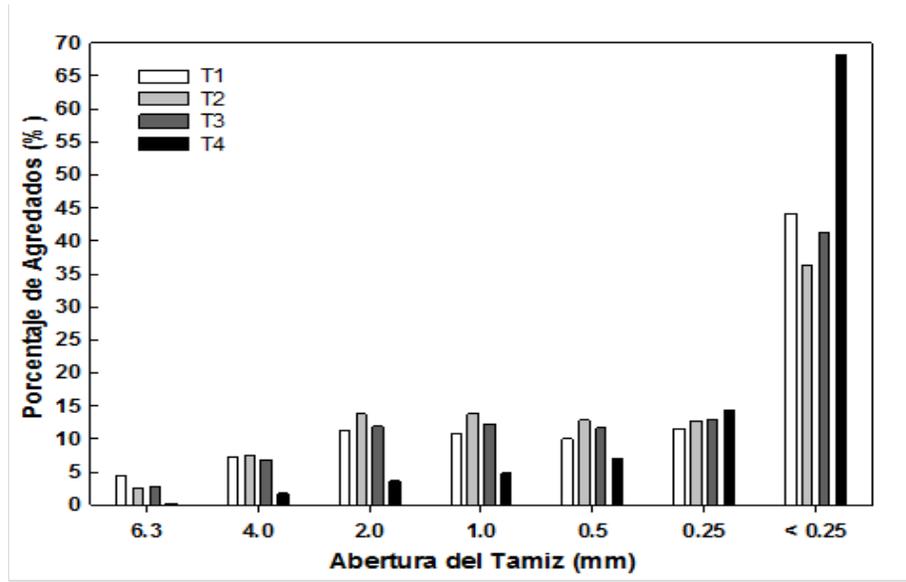
Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 2006

De igual forma, los valores arrojados a través de la metodología de distribución de agregados en seco (figura 1), en las muestras de los tratamientos, demostró que en promedio entre un 40-70%, las partículas que más se erodan son las menores a 0,25mm, lo que representa la degradación en la que se encuentra el suelo de la zona, debido a factores antrópicos de laboreo, ya que al producirse en mayor cantidad partículas tan pequeñas, éstas son más vulnerables a la erosión; (Barto *et al.*, 2010) Análisis de suelo de bosque de la zona, ha mostrado homogeneidad en sus partículas y estabilidad de sus agregados. Entonces, cuanto mayor sea el porcentaje de agregados estables, tanto menor será la erodabilidad del suelo (Campoy, 2015).

El análisis de varianza y la prueba de Tukey no reportaron medias significativamente diferentes entre tratamientos, pero si entre tamaños de agregados por tratamiento, donde el tamaño de agregado principalmente generado fue el menor a 0,25mm evidenciado en mayor cantidad en el T4, es decir, la diferencia más notoria se presentó con el tamaño de partícula más fina producto de su exposición a las lluvias mostrando alta sensibilidad a la separabilidad.

Los resultados se atribuyen a las condiciones en las que se encuentra el suelo en los tratamientos. El T4 a diferencia de los demás tratamientos, no presenta cobertura vegetal. Al respecto Campoy (2015), afirma que la vegetación le aporta al suelo una cantidad progresiva de materia orgánica y nutrientes mejorando su estructura y el equilibrio entre sus agregados. La notable destrucción de los agregados del suelo dan lugar a una reducción en la velocidad

de infiltración de agua lluvia y a un aumento de pérdidas por escorrentía, incrementando los fenómenos de erosión de partículas finas (Albaladejo *et al.*, 1996).



**Figura 1.** Distribución de agregados en seco

La degradación del suelo se puede atribuir a la intensa labranza y mecanización manual localizada del suelo en la zona, haciendo que se afloje y aumente su vulnerabilidad a la erosión hídrica y antrópica. Al respecto, Baéz y Aguirre (2011) encontraron evidencias donde la labranza tradicional en la agricultura mediante el uso intensivo del arado y la rastra, modifica la estructura de la capa superficial del suelo, la continuidad del espacio poroso y reduce el contenido de materia orgánica, acelerando su estado de degradación. Se puede observar en la tabla 6 que la mayor cantidad de suelo recolectado en las canaletas, se presenta en las parcelas cultivadas por papa, debido a la intensa actividad agrícola a la que están sometidas.

**Tabla 6.** Cantidad de suelo erosionado

Tratamiento	Erosión(Kg/ha)
T2	652,29 a
T1	567,40 b

<b>T4</b>	86,66 c
<b>T3</b>	58,41 d

El análisis de varianza detecta variables altamente significativas entre tratamientos. La prueba de comparación de medias de Tukey muestra que el tratamiento 2 con un promedio de 652,29Kg/ha y el tratamiento 1 con promedio 567,40Kg/ha no difieren estadísticamente entre sí, sin embargo difieren estadísticamente con los tratamientos 4 y 3 con valores de 86,66Kg/ha y 58,41Kg/ha respectivamente.

### Identificación y cuantificación de plaguicidas

El análisis cromatográfico de las muestras de suelo de los diferentes tratamientos se realizó en los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño, se identificó los plaguicidas presentados en la tabla 7. Además se identificó excipientes o compuestos residuales presentes en la tabla 8.

**Tabla 7.** Plaguicidas identificados.

<b>Plaguicidas de estudio</b>
Carbofuran
Clorpirifos
Malatión

**Tabla 8.** Compuestos residuales.

<b>Excipientes o residuales</b>	<b>Característica</b>
Piperazina (Triforina, SaproI; fungicida concentrado emulsionante)	Categoría toxicológica IV, ligeramente tóxico (INECC, 2013)
5-tert-butil-5-hidroxi-3-metil-2-Pirazolina-1-carboxaldehido (Pirazofos)	Fungicida organofosforado. Categoría toxicológica III, moderadamente tóxico ( <i>Ibid</i> , 2013)
5-etoxidihidro- 2(3H)-Furanona	Compuesto oxidado derivado de Furano (COP) altamente tóxico ( <i>Ibid</i> , 2013)
Ácido carbámico, (1-feniletil)-, 3-	Base de carbamatos

---

metiloctiléster

Precursor paraquat, diquat y clorpirifos

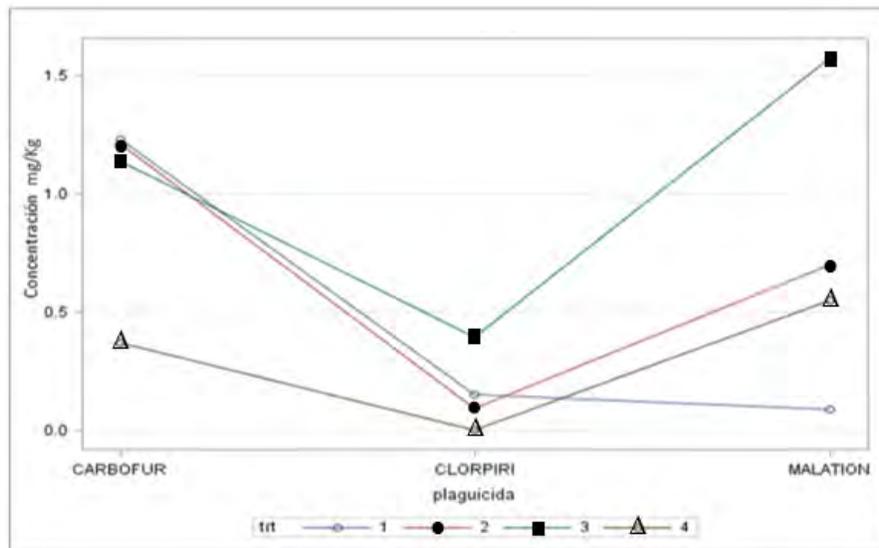
Piperidina

N-Metil-3-piperidinacarboxamida

Insecticida altamente tóxico

---

Los resultados de los análisis cromatográficos, confirmaron la presencia de los plaguicidas carbofurán y clorpirifos en el suelo, reportados en los antecedentes del estudio, igualmente se logró identificar el malatión y diferentes compuestos precursores o residuales, los cuales son igual o más tóxicos que los plaguicidas en estudio. En la figura 2, se relaciona la concentración de los plaguicidas en cada uno de los tratamientos.



**Figura 2.** Concentración de los plaguicidas en cada tratamiento.

La prueba de comparación de medias de Tukey indica que la concentración de los plaguicidas carbofurán, clorpirifos y malatión en los tratamientos no difieren estadísticamente entre sí, sin embargo los niveles de concentración del carbofurán son mayores en T1 y T2, con valores de 1,2314ppm y 1,2088ppm respectivamente, debido a los elevados niveles de aplicación de este tipo de plaguicidas, de acuerdo a lo anterior Márquez *et al* (2010) afirma que el productor acostumbra a aplicar más producto que la dosis comercial recomendada por la casa fabricante y ante la resistencia desarrollada por las plagas, también aumentan las dosis y las frecuencias de aplicación de los plaguicidas como el carbofurán.

Por otro lado, los niveles de clorpirifos y malatión (0,3958ppm y 1,5758ppm respectivamente) son mayores en el T3 que en los demás tratamientos y la concentración de carbofurán es significativa (1,1389ppm). Esto debido al sistema papa-pasto-papa establecido por los productores ya que usando el Kikuyo (*Pennisetum clandestinum Hochst ex chiov*) en el paso intermedio sugiere riesgos para el medio ambiente, animales y seres humanos, debido a que el clorpirifos del suelo se encuentra parcialmente biodisponible para la vegetación y se ha encontrado que la cinética de bioacumulación es mayor en la matriz raíz que en la matriz follaje según Márquez et al (2010).

Teniendo en cuenta la figura 2, el clorpirifos tuvo las menores concentraciones en los tratamientos estudiados con respecto al malatión y carbofurán, con valores en orden descendente de 0,3958ppm, 0,1532ppm, 0,0909ppm para T3, T1, T2 respectivamente y no detectado para T4. Estos resultados están asociados a la baja persistencia del plaguicida en el suelo, ya que Smegal (2000) citado por Morales *et al* (2010), afirma que la vida media del clorpirifos, bajo metabolismo aeróbico en el suelo, está en el rango de 11 a 180 días, con un promedio de 28,9 días. Además, el clorpirifos adsorbido a los suelos está sujeto a degradación fotolítica ultravioleta y a hidrólisis química y biológica por microorganismos (Tinsley, 1998 citado por Morales *et al*, 2010).

Caso contrario se presenta con el carbofurán y malatión, que tienen una persistencia mayor en el suelo, de hasta 110 días (FAO, 2000) y 247 días respectivamente (Díaz *et al*, 2014), evidenciándose niveles de concentración de estos plaguicidas en el T4, debido principalmente a la historia del terreno en la cual sobresale la frecuencia y aplicación excesiva de estos agroquímicos.

Además, en la figura 2, se puede evidenciar que se registraron elevados niveles de concentración de malatión en el T4 (después de un periodo de un año de cultivo de papa) en comparación con el T1. Al respecto Leal *et al* (2013), afirma que estos hallazgos demuestran el uso indiscriminado de plaguicidas en el pasado y que la acumulación de los plaguicidas en los suelos se debe principalmente a la antigüedad y a la persistencia en el uso de estos productos. Así mismo, cabe resaltar que el terreno del T4 anteriormente se encontraba

cubierto por pasto kikuyo y como se explicó con anterioridad, esto favorece la retención de los plaguicidas.

Los niveles más bajos de carbofurán y clorpirifos se identificaron en el tratamiento 4 puesto que el suelo desnudo favorece a la degradación de los plaguicidas por efectos fotolíticos ultravioletas e hidrólisis química. Sumado a ello, ante la ausencia de cobertura vegetal el carbofurán registró niveles bajos de concentración debido principalmente a sus características solubles en el agua, ya que según Cogger *et al* (1998) citado por Castillo *et al* (2004) este carbamato presenta una baja constante de adsorción y moderada vida media, lo que trae como consecuencia su lavado hacia las napas. Así mismo, Nicosia *et al* (1991) citado por Castillo *et al* (2006) reafirma que la alta solubilidad del carbofurán y su bajo coeficiente de adsorción hacen que sea muy móvil a través del perfil y en la superficie del suelo.

Otro factor que influye en la degradación de los plaguicidas en el suelo es el clima de la zona, ya que según Mörner *et al* (2002), la volatilidad es más fuerte en los climas tropicales que en los climas moderados o fríos, es decir, la naturaleza persistente de los plaguicidas queda demostrada con la lentitud con la que se deterioran en el suelo, en particular en climas fríos.

Por otra parte, teniendo en cuenta la textura franco arenosa del suelo de la zona de estudio el potencial de lixiviación y degradación de los plaguicidas en los suelos está estrechamente relacionado con el grado de afinidad con las arcillas presentes y las características hidráulicas del mismo (Ndongo *et al* 2000 citado por Gutiérrez *et al* 2007).

En relación a lo anterior, Racke *et al* (1996) citado por Lopera (2005), afirma que existe una interacción entre las arcillas y los plaguicidas organofosforados, que favorece la naturaleza electrofílica del átomo del fósforo presente en la molécula, facilitando el ataque nucleofílico por parte de los iones hidróxido y su posterior degradación. Entonces a medida que aumenta la cantidad de organofosforados en el suelo existe menor probabilidad de que éste sea activado por las arcillas y luego hidrolizado en la solución del suelo.

De la misma manera, los plaguicidas carbamatos demuestran mayor afinidad a la degradación en suelos franco arcillosos que en franco arenosos, debido a que la mayor presencia de arcillas reaccionan con mayor facilidad con la marcada localización de fuerzas de atracción sobre el

grupo carbonilo del carbofurán, dando lugar a una mejor interacción con los nucleófilos del suelo (Singh *et al*, 1994).

Finalmente, para la determinación de los niveles permisibles de plaguicidas en el suelo, se consideraron los valores de los límites máximos residuales (LMR) establecidos por la EPA y la EU, donde las concentraciones máximas son: para el carbofurán 0,001ppm, malatión 0,02ppm y clorpirifos 2,0ppm. Teniendo en cuenta los datos arrojados en la investigación, el carbofurán y malatión sobrepasan los LMR, mientras que el clorpirifos se encuentra dentro de los rangos establecidos.

### CONCLUSIONES

El suelo de la zona se encuentra en un marcado estado de degradación, atribuido principalmente a la intensa labor agrícola asociada a la aplicación indiscriminada de plaguicidas, el laboreo mecanizado y la pérdida de suelo reflejado en el T1 y T2 que tuvieron la mayor pérdida de suelo con respecto a los demás tratamientos.

Las características físicas del suelo asociada a plaguicidas, muestra que la transición de textura franco a franco arenosa y la generación de partículas menores a 0,25mm, facilitan la movilidad e impacto de los plaguicidas.

En el análisis químico del suelo se identificaron los plaguicidas organofosforados clorpirifos y malatión y el plaguicida carbofurán. Se identificaron otras moléculas y plaguicidas residuales, los cuales son igual o más peligrosos y contaminantes que los anteriores como el 5-etoxidihidro 2(3H)-Furanona, (Compuesto oxidado derivado de Furano (COP) altamente tóxico).

La cobertura vegetal es un factor determinante que influye en la persistencia de los plaguicidas en el suelo, ya que los retiene y disminuye la energía lumínica en la superficie del suelo dificultando la degradación fotolítica de los mismos, evidenciado en las concentraciones de los tratamientos T1, T2 y T3.

Los niveles de concentración de los plaguicidas carbofurán y malatión en los suelos agrícolas monitoreados sobrepasan los Límites Máximos Residuales establecidos por la EPA y por la EU, los cuales son mucho más tóxicos y persistentes que el clorpirifos.

## **RECOMENDACIONES**

La falta de estudios y la inadecuada normatividad en Colombia sobre los límites máximos residuales de plaguicidas en el suelo, dificulta el control y regulación de las actividades agrícolas por parte de las instituciones ambientales, debido a que no existe una línea base que permita considerar unos rangos de contaminación del suelo, y por lo tanto el uso indiscriminado de plaguicidas, asociado al manejo tradicional del cultivo de papa, contribuye a la degradación de éste recurso natural, disminuyendo la calidad y disponibilidad del mismo.

Es pertinente llevar a cabo estudios similares a este, para determinar la contaminación del suelo por plaguicidas en el mayor número de zonas y cultivos de Colombia y del departamento de Nariño, con el fin de establecer un diagnóstico del estado del suelo y de esta manera emprender acciones que permitan hacer un uso adecuado de este recurso.

Es necesario realizar estudios más específicos profundizando en el impacto de los plaguicidas derivados y residuales en los cultivos, los recursos naturales y en la salud humana, teniendo en cuenta que en éste estudio se encontraron compuestos precursores y derivados, que pueden ser aún más tóxicos y contaminantes que los plaguicidas aplicados.

Los plaguicidas estudiados son muy lábiles, por esta razón es importante la refrigeración de las muestras, tanto en su transporte desde campo al laboratorio, como en su almacenamiento después de ser procesadas hasta el momento de la inyección al cromatógrafo.

El sistema papa-pasto-papa requiere de un análisis integral en este tipo de sistema de descanso de cultivos, recalcando la bioacumulación de plaguicidas y la finalidad del pasto como alimento para ganado.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ALCALDÍA DE PASTO, 2011. La Laguna o San Pedro de La Laguna. En: <http://www.culturapasto.gov.co/index.php/donde-comer/restaurantes-de-pasto/123-la-laguna-o-san-pedro-de-la-laguna>; consulta: enero, 2016.

ALBALADEJO, J., CASTILLO, V., ROLDÁN, A. 1996. Rehabilitation of degraded soils by water erosion in semiarid environment. In: J.L. Rubio y A. Calvo. Soil Degradation and Desertification in Mediterranean Environments. pp. 265-278.

BARTO, E.K., OELMANN, Y., WILCKE, W., RILLIG, M.C. 2010. Contributions of biotic and abiotic factors to soil aggregation across a land use gradient. Soil Biology & biochemistry Elsevier. Volume 42: 2316-2324.

BORRÁEZ, 2011. Detectan exceso de químicos en cultivos de papa. Universidad Nacional Periódico. Unidad de Medios de Comunicación. Periódico Impreso No. 149.

BAÉZ, M., y AGUIRRE, J. 2011. Efectos de la labranza de conservación sobre las propiedades del suelo. Terra Latinoamericana. Vol. 29, No. 2. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. México. pp 113-121.

BRUAND, A., HARTMANN, C., RATANA, S., SINDHUSEN, P., POSS, R. Y HARDY, M., 2004. Composition, fabric, and porosity of an Arenic Haplustalf in Northeast Thailand: Relation to penetration resistance. Soil Science Society of America Journal, 68, 185-193.

CABRERA, D., LÓPEZ, A., MENA, D. 2006. Determinación del plaguicida carbofurán en agua, suelo y cultivo de papa de la vereda Jurado, municipio de Pasto. Tesis de grado para optar al título de Químico. Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas. Departamento de Química. San Juan de Pasto, Colombia. pp 113.

CAMPOY, M. 2015. Efecto de las acciones antrópicas sobre la estabilidad de agregados del suelo en zonas semiáridas. Universidad de Murcia. Facultad de Biología. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura CEBAS-CSIC. España. pp 192.

CASTILLO, A., SUBOVSKY, M., RODRÍGUEZ, S., SOSA, A. 2006. Efecto de un suelo con distintos usos en la movilidad de carbofurán. Comunicaciones científicas y tecnológicas. Universidad Nacional del nordeste. Argentina. pp 4.

CASTILLO, A., OGGERO, R., RODRIGUEZ, S., SUBOVSKY, M. 2004. Persistencia y movilidad de carbamato en columnas de suelo. Comunicaciones científicas y tecnológicas. Química Orgánica y Biológica. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del nordeste. Argentina. pp 4.

CASTILLO, J. A., 1994. Determinación del índice de erodabilidad (K) en dos suelos del Departamento del Cauca, Colombia. Tesis Msc, Universidad Nacional de Colombia. Sede Palmira. Colombia.

DÍAZ, S., ZADERENKO, A., ANTA, J., MERKLING M. 2014. Insecticidas organoclorados y organofosforados en el Medio Ambiente. Revista MoleQla. Universidad Pablo de Olavide ISSN 2173-0903. Sevilla, España.

EPA, 2015. Environmental Protection Agency. Maximum residue levels. En: <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/standards/pestres/en/>; consulta: abril, 2016.

EU, 2016. European Commision. Maximum residue levels. En: [http://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/max\\_residue\\_levels/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/max_residue_levels/index_en.htm); consulta: abril, 2016.

FAO, 2015. Food and Agriculture Organization of the United Nations. El suelo es un recurso no renovable.

FAO, 2000. Assessing soil contamination. Editorial Group FAO Information Division.

FONTAGRO, 2011. Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria. Reducción del uso y desarrollo de resistencia a plaguicidas en el cultivo de arroz y frijol en Colombia, Venezuela y Ecuador.

GARCÍA, P., 2004. Interacciones entre la vegetación y la erosión hídrica. Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid, España. pp 26.

GUTIÉRREZ, H., BARBA, L., MATERÓN, H. 2007. Movilidad de los plaguicidas carbofurán e imidacloprid en un suelo Typic Humitropept. Agronomía colombiana. ISSN 0120-9965. Vol.25 No.1. Bogotá, Colombia.

IGAC. INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. 2006. Métodos analíticos del laboratorio de suelos. Bogotá D.C; Republica de Colombia. p 407-410.

INECC, 2013. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Fichas técnicas de seguridad de plaguicidas y excipientes.

JIMÉNEZ Y SANTOS, 2008. Estudio de movilidad del plaguicida clorpirifos y de impacto ambiental, en suelos de CORPOICA ubicados en Villavicencio a partir de un derrame simulado. Universidad de La Salle. Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Bogotá D.C. pp 194.

LEAL, S., VALENZUELA, A., CORONADO, M., BERMÚDEZ, A., GARCÍA, J., ALDANA, M., GRAJEDA, P., SILVEIRA, M., MEZA, M., PALMA, S., LEYVA G., C. 2013. Residuos de plaguicidas organoclorados en suelos agrícolas. Terra Latinoamericana, Volumen 32 Número 1, 2014.

LOPERA, M., PEÑUELA, G., DOMINGUEZ, M., MEJÍA, G. 2005. Evaluación de la degradación del plaguicida clorpirifos en muestras de suelo utilizando el hongo *Phanerochaete chrysosporium*. Revista Facultad de Ingeniería No. 33. pp 58-69.

MÁRQUEZ, S., MOSQUERA, R., HERRERA, M., MONEDERO, C. 2010. Estudio de la absorción y distribución del clorpirifos en plantas de pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum Hochst ex chiov.*) cultivadas hidropónicamente. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias. Vol. 3, No. 2. Grupo de Investigación GRICA. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.

MORALES, C., RODRIGUEZ, N., RESTREPO L., LÓPEZ, C. 2010. Relación entre residuos de clorpirifos en leche y sangre de vacas Holstein y niveles séricos de estradiol y tiroxina. REDVET. Revista electrónica de Veterinaria. ISSN: 1695-7504. Vol. 11, No. 1. pp 22.

MÖRNER, J., BOS, R., FREDRIX, M. 2002. Reducción y eliminación del uso de plaguicidas orgánicos persistentes. Documento de Orientación sobre estrategias alternativas para el manejo sostenible de plagas y vectores. Programa interinstitucional para la gestión integral de las sustancias químicas. Ginebra, Suiza. pp 105.

NDONGO, B., G. LEROUX y J. FORTÍN. 2000. Transport du linuron, d'el imidaclopride et du bromure au travers de colonnes de sol et de lysimètres drainast. *Biotechnology Agronomic Society* 4(1), pp 33-40.

SHAXSON, F., y BARBER, R. 2005. Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal. El significado de la porosidad del suelo. *Boletín de suelos de la FAO*. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. ISBN 92-5-304944-8. Italia. pp 131.

SILVA, S., y CORREA, F. 2009. Análisis de la contaminación del suelo: revisión de la normativa y posibilidades de regulación económica. *Semestre Económico*, Vol. 12, No. 23, Universidad de Medellín. Colombia. pp 23.

SINGH, R.P., KUMARI, K., SINGH, D. 1994. Influence of Different Factors on the Adsorption of Carbofuran (2,3- Dihydro-2,2-dimethyl-7-benzofuranyl-A/-methyl Carbamate) on Soils. Laboratory of Soil Science, Department of Botany, Faculty of Life Science, Aligarh Muslim University, Aligarh-202 002, India.

SUÁREZ, J. 2001. Control de erosión en zonas tropicales. Instituto de investigaciones sobre erosión y deslizamientos. Corporación autónoma regional para la defensa de la meseta de Bucaramanga, CDMB. Universidad industrial de Santander. Colombia. pp 545.

URIBE, S. 2013. Agroquímicos envenenan suelos en Colombia. Agencia de Noticias Universidad Nacional. Unidad de Medios de Comunicación. Periódico Impreso No. 172.

VÁSQUEZ y LANDEROS, 2009. Agricultura y deterioro ambiental. *Elementos*. No. 73. México. En: <http://www.elementos.buap.mx/num73/pdf/19.pdf>; consulta: febrero, 2016.