

**CONTAMINACIÓN EN AGUA DE ESCORRENTÍA POR PLAGUICIDAS EN UNA
ZONA AGRÍCOLA PRODUCTORA DE PAPA.**

**DIANA SOFIA CHARFUELAN CAIPE
CRISTIAN CAMILO SANCHEZ CHAVES**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
SAN JUAN DE PASTO**

2016

**CONTAMINACIÓN EN AGUA DE ESCORRENTÍA POR PLAGUICIDAS EN UNA
ZONA AGRÍCOLA PRODUCTORA DE PAPA.**

DIANA SOFIA CHARFUELAN CAIPE

CRISTIAN CAMILO SANCHEZ CHAVES

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de Ingeniero
Ambiental**

Presidente:

Ph.D JESÚS ANTONIO CASTILLO

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
SAN JUAN DE PASTO**

2016

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

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

NOTA DE ACEPTACIÓN

PRESIDENTE DE TESIS

JURADO

JURADO

San Juan de Pasto, noviembre de 2016

RESUMEN

La utilización inadecuada y aplicación indiscriminada de plaguicidas en la agricultura, conlleva numerosas consecuencias en el ambiente, entre ellas, la contaminación de aguas superficiales cercanas a las zonas de producción agrícola. Este estudio se realizó en un sistema productivo de papa (*Solanum tuberosum*) ubicado en el corregimiento de La Laguna, municipio de Pasto. El objetivo de la investigación fue evaluar la contaminación con plaguicidas en agua de escorrentía captada bajo un diseño experimental de bloques completamente al azar de efectos fijos (BCA) con 4 tratamientos, los cuales fueron, T1: cultivo de papa tecnificado; T2: cultivo de papa convencional; T3: Pasturas y T4 suelo desnudo; y 3 repeticiones para un total de 12 unidades experimentales. Para la determinación y cuantificación de plaguicidas se utilizó la técnica de extracción líquido – líquido y análisis mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS). En el 48% del total de las muestras se identificaron plaguicidas carbofuran, clorpirifos, malatión y compuestos residuales. El plaguicida malatión se detectó en el 70% de las muestras analizadas, seguido de carbofuran con 45% y clorpirifos con 27%, con concentraciones medias de 0,2051 mg L⁻¹, 0,07575 mg L⁻¹ y 0,04134 mg L⁻¹ respectivamente, superando los límites máximos permisibles establecidos por la normatividad nacional. Además, se estimó la escorrentía superficial en cada tratamiento donde se obtuvo mayores promedios dentro de los cultivos de papa en T2 con 2,6665 L y T1 de 2,5264 L y menores valores en T4 con 2,2774 L y T3 con 2,1633 L.

Palabras clave: carbofuran, clorpirifos, malatión, concentración, movilidad.

POTATO PRODUCTION IN AGRICULTURAL AREAS AFFECTED BY WATER CONTAMINATION DUE TO WATER AND WASTE RUN OFF.

ABSTRACT

The utilization inadequate and the enforcement indiscriminate of pesticides in the agriculture entail numerous consequences on the environment, between them, the contamination of nearby surface waters to areas of agricultural production. This study was made in a system productive of potato (*Solanum tuberosum*) located in the village of La Laguna, a municipality of Pasto. The objective of the investigation was evaluate the contamination with pesticides of waters of run-off captured under a design experimental of blocks completely random of effects fixed (BCA) with 4 treatments, wich were, T1: Technicized potato crop; T2: conventional potato cultivation; T3: pastures T4: bare soil and 3 repetitions, for a total of 12 units experimental. For determination and quantification of pesticides was used the technique of extraction of liquid - liquid and analysis by gas chromatography coupled to spectometry of masses (GC-MS). In 48% of the total samples indentified pesticides to contain carbofuran, chlorpyrifos, malathion and residual compounds. The pesticide malathion was detected in 70% of the samples analyzed, followed by carbofuran chlorpyrifos 45% and 27%, with the mean concentrations of 0,2051 mg L⁻¹, 0,07575 mg L⁻¹ and 0,04134 mg L⁻¹, respectively, surpassing the limits maximum allowed set by national regulations. In addition, surface runoff was estimated in each treatment where higher averages were obtained within T2 potato cultures with 2.6665 L and T1 of 2.5264 L and lower amount in T4 with 2.2774 L and T3 with 2,1633 L.

Keywords: carbofuran, chlorpyrifos, malathion, concentration, mobility

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	8
LISTA DE FIGURAS	9
GLOSARIO	10
INTRODUCCIÓN.....	13
MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	19
CONCLUSIONES.....	27
RECOMENDACIONES.....	28
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tratamientos establecidos en el estudio	18
Tabla 2. Identificación de plaguicidas	19
Tabla 3. Comparación normatividad y valores máximos de concentraciones de plaguicidas.	23
Tabla 4. Concentración total de plaguicidas.....	23
Tabla 5. Prueba de T Agrupamiento para medias de mínimos cuadrados tratamientos.....	24
Tabla 6. Índice de escorrentía.....	25

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Concentración media de plaguicidas en cada tratamiento.	22
---	----

GLOSARIO

Agroecosistema: es un ecosistema intervenido por el hombre donde el componente biótico debe estar representado por un cultivo, cuyo fin sea proveer bienestar al hombre.

Bioconcentración: se trata del movimiento de un producto químico desde el medio circundante hasta el interior de un organismo.

Carbofuran: es un plaguicida sistémico utilizado como insecticida, acaricida y nematicida de amplio espectro, que pertenece al grupo químico de los carbamatos.

Carbono orgánico disuelto: es la fracción disuelta del carbono total en agua

Cobertura vegetal: es la capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre, comprendiendo una amplia gama de biomásas con diferentes características fisonómicas y ambientales.

Coefficiente de adsorción: es una medida de la tendencia de un compuesto orgánico a ser adsorbido (retenido) por los suelos o sedimentos.

Conductividad hidráulica:

Cromatografía de gases: es una técnica analítica que permite separar mezclas de compuestos fácilmente volatilizables y térmicamente estables en sus componentes individuales.

Degradación fotolítica: es la descomposición de sustancias químicas por la luz.

Degradación hidrolítica: se define como la descomposición de sustancias como consecuencia del contacto con un medio acuoso.

Escorrentía: se refiere al agua de lluvia o de riego que escurre superficialmente por el suelo.

Hidrólisis alcalina: es un proceso por el cual el ingrediente activo de los productos químicos se degrada fácilmente y pierde su estabilidad, con la consecuente pérdida de la actividad plaguicida.

Ingrediente activo: se refiere a los químicos en los productos pesticidas que matan, controlan o repelen plagas.

Labranza: son todas aquellas actividades que se llevan a cabo directamente al terreno con el propósito de adecuar el suelo para un cultivo.

Límite máximo permisible: es la medida de la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente.

Movilidad: se refiere a las diferentes formas de transporte y destino final eventual de un plaguicida en el ambiente.

Organofosforado: Grupo de compuestos orgánicos que contienen fósforo y se utilizan como insecticidas.

Percolación: es aquel proceso donde el agua se drena libremente del suelo debido la fuerza de la gravedad, esta requiere un límite por encima de la capacidad de campo.

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.

Plaguicida: toda sustancia química, natural o sintetizada, utilizada en la agricultura para controlar los diversos organismos perjudiciales.

Porosidad: se define como el espacio de suelo que no está ocupado por sólidos y se expresa en porcentajes. Se define también como la porción de suelo que está ocupada por aire y/o por agua.

Textura: es la proporción de cada elemento en el suelo, representada por el porcentaje de arena, arcilla y limo.

Toxicidad: es la capacidad de una sustancia de producir daño. La toxicidad de los plaguicidas depende de varios factores.

Vertimiento: se define como la acción de descargar o verter aguas residuales a los cuerpos hídricos.

Vida media: está definida como el tiempo (en días, semanas o años) requerido para que la mitad del plaguicida presente después de una aplicación se descomponga en productos de degradación.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional ha aumentado la demanda de alimentos en menores lapsos de tiempo (De Gerónimo *et al.*, 2014), por lo que los productores se han visto en la necesidad de buscar métodos que incrementen la rentabilidad y protección del cultivo sin generar pérdidas (Valderrama *et al.*, 2012). Uno de estos métodos es la aplicación de plaguicidas, que ha producido grandes beneficios para la producción agrícola eliminando plagas, enfermedades y malezas. En Colombia, durante el 2010 se usaron más de 14,5 toneladas de plaguicidas por cada 1000 hectáreas, cifra que ubica a este país entre los mayores consumidores en Latinoamérica (FAO, 2015). En Nariño dentro de los costos de producción del cultivo de papa, el 13% corresponde a la aplicación de diversos plaguicidas (Perfetti *et al.*, 2012), y su uso continuo constituye una preocupación debido a su comportamiento, destino ambiental y los potenciales efectos adversos sobre organismos no objetivo (Gunningham y Sinclair, 2005; Martínez *et al.*, 2009).

La parte alta de la cuenca del río Pasto, esta irrigada por varias quebradas que favorecen la productividad de los suelos utilizados principalmente en agricultura y ganadería representando un alto potencial agropecuario, así como fuente para el abastecimiento de agua potable de diferentes comunidades de la zona. Los cultivos predominantes como pastos, papa y cebolla evidencian una considerable demanda de plaguicidas (Corponariño, 2011).

Cuando se aplica cualquier plaguicida se inicia un proceso de interacción entre éste y el medio, dicha interacción comprende elementos como la atmósfera, suelo, agua y plantas; y dependen de factores como la proximidad de los cultivos a las aguas superficiales o cuerpos de agua, condiciones climáticas (temperatura, humedad, viento y precipitación), propiedades del suelo como contenido de materia orgánica, pH, porosidad, capacidad de intercambio iónico y las propiedades fisicoquímicas de plaguicidas (Luo, *et al.*, 2008; Jaramillo *et al.*, 2009; Hui *et al.*, 2010; Ippolito *et al.*, 2015).

Diferentes autores han reportado que la liberación de plaguicidas al ambiente se origina a través de procesos de erosión hídrica, lixiviación, transporte atmosférico, escorrentía

superficial (Varca, 2012; Vymazal y Březinová, 2015) siendo este último proceso el principal contribuyente de contaminación difusa en cuencas agrícolas (Luo, *et al.*, 2008., Nasrabadi *et al.*, 2008; Tang *et al.*, 2012).

En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar la contaminación por plaguicidas en aguas de escorrentía de una zona agrícola productora de papa (*Solanum tuberosum*), principalmente atendiendo a las grandes cantidades de agroquímicos que se utilizan, para ello, se determinó y cuantificó la presencia de plaguicidas carbofuran y organofosforados en muestras de agua, y se realizó la medición de la escorrentía total de cada tratamiento establecido, esto con el fin de establecer los niveles de contaminación generados por el uso de estos plaguicidas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. La investigación se llevó a cabo en el corregimiento de La Laguna, ubicado 1° 10' y 1° 15' Latitud Norte 77° 10' y 77° 15' Longitud Oeste, con una extensión aproximada de 12 km² y presenta una altitud promedio de 2800 m.s.n.m y una temperatura promedio de 8°C (Alcaldía de Pasto, 2009). Este corregimiento se encuentra en la cuenca alta del río Pasto, que se constituye como estrella hídrica y ecosistema vital para la población asentada, por su importancia como zona de recarga hídrica y fuente vital que abastece a los acueductos, sistemas de riego y los procesos productivos agropecuarios (*Ibíd.*, 2009). Las unidades experimentales se ubicaron en las veredas Aguapamba, Laguna Centro y San Luis.

Descripción del estudio. Se establecieron parcelas de escorrentía con dimensiones de 6 m x 12 m. Las parcelas se ubicaron en el sistema productivo papa – pasto- papa y sobre pendientes con promedio de 55%, de tal manera que los 6 m se ubicaron en la parte superior y los 12 metros de acuerdo a la pendiente. Fueron delimitadas a lo ancho con láminas de hierro galvanizado de 30 cm de alto (15 cm bajo la superficie y 15 cm sobre la misma) y para recolectar el agua de escorrentía se habilitó en la parte inferior de las parcelas, canaletas de 8 pulgadas de diámetro, un reductor de tubería de 2 pulgadas a media pulgada que se conectó a una manguera de media pulgada que condujo el agua hacia un recipiente de almacenamiento (Castillo, 1994; Ríos, 2006; Salas 2011).

Topografía y pendiente. En la zona es característico encontrar un tipo de paisaje de montaña, con un tipo de relieve moderada y fuertemente escarpado, con pendientes 50-75%, suelos son muy profundos y profundos en la superficie, bien drenados. Están afectados por movimientos en masa, especialmente deslizamientos y procesos de soliflucción. (IGAC, 2004).

Características físicas y química del suelo. Los suelos de esta zona corresponden a *Acrudoxic Melanudands* desarrollados de cenizas volcánica que yacen sobre andesita, se

caracterizan por ser muy profundos y profundos, bien drenados de textura franco arenosa (F – A) y arenosa franca (A - F). Son suelos de reacciones fuertes y fuertemente ácida, alta capacidad catiónica de cambios, baja saturación de bases, bajos contenidos de calcio, magnesio, potasio y fósforo, alta retención de fosfatos; altos contenidos de aluminio intercambiable en el horizonte superficial, altos contenidos de carbono orgánico y fertilidad baja. (IGAC, 2004).

Área experimental. 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 (Castillo, 1994). Estas parcelas se utilizan para medir la cantidad de agua que se produce después de eventos pluviométricos, efectos como el arrastre de suelo, lavado de abonos, pérdida de nutrientes, residuos de plaguicidas y su aplicación se puede extender a determinar factores que incidan sobre el manejo de una cuenca hidrográfica (Castillo, 1994; Triviño, 2008).

Muestreo en campo. La toma de muestras se realizó de acuerdo a lo planteado por ICONTEC (1995), del tanque de almacenamiento de la parcela de escorrentía se tomó 250 mL de la muestra, en un recipiente de vidrio color ámbar previamente lavado, secado a 105 °C y purgado en la zona de muestreo. Se rotuló cada una de las muestras con el número de parcela de escorrentía, tipo de sistema y fecha de muestreo. La custodia de los muestreos se realizó rigurosamente para mantener la integralidad de la muestra, hasta la recepción en los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño donde se refrigeraron a una temperatura de 4°C, hasta el momento de la extracción.

Para la estimación de la escorrentía superficial se adaptó la metodología propuesta por Ríos (2006), donde las mediciones de escorrentía superficial se registraron por cada evento de lluvia durante un ciclo productivo de papa. Para la medición del volumen de agua escurrida de las parcelas de escorrentía se utilizó una regla graduada, midiendo el nivel de agua del recipiente colector, que era vaciado después de cada lectura.

La medición de la precipitación se obtuvo por medio de la lectura del pluviómetro, el cual era vaciado luego de cada toma de datos. Para el cálculo de la lluvia incidente en la parcela de escorrentía se aplicó la siguiente fórmula:

$$ACP = A * Pp$$

Donde:

- ACP = Cantidad de agua caída sobre la parcela de escorrentía (litros)
- A = Área de la parcela de escorrentía (m²)
- Pp = Precipitación incidente leída en el pluviómetro (mm)

Posteriormente se calculó la cantidad de agua escurrida, que representa el agua lluvia caída dentro de la parcela de escorrentía y que llega al recolector, para lo cual se aplicó el siguiente cálculo:

$$AE = N * (Ac * h) * 1000$$

Donde:

- AE = Agua escurrida (litros)
- N = Número de orificios de drenaje en el recipiente
- Ac = Área de la circunferencia (m²) del recipiente
- H = Altura del nivel de agua (m) en el recipiente
- 1000 = Factor de conversión para pasar el valor a litros

Diseño experimental. Las unidades productivas fueron sometidas a determinado uso y manejo (parcelas cultivadas) y corresponden a 5 surcos de papa (6 m de ancho) y dos surcos de bordes laterales, con una longitud de 12m de largo. Se estableció 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 carbofuran y organofosforados en cada uno de los tratamientos. Los tratamientos corresponden a manejo del cultivo de papa descritos en la Tabla 1.

Tabla 1. Tratamientos establecidos en el estudio

Tratamiento	Descripción
T1	Lote con cultivo de papa, aplicación de agroquímicos tecnificada y una pendiente de 41,7%. Presenta un suelo ligeramente estable con tendencia a la inestabilidad.
T2	Lote con un cultivo de papa, aplicación de agroquímicos convencional (alto nivel de agroquímicos) y una pendiente de 56,3%. Presenta un suelo ligeramente estable con tendencia a la inestabilidad.
T3	Lote con pasturas después de 2 periodos del cultivo de papa, con una pendiente de 55%. Presenta un suelo ligeramente estable con tendencia a la inestabilidad.
T4	Lote con suelo desnudo posterior a dos periodos de cultivo de papa, con una pendiente de 67%. Presenta un suelo inestable.

Análisis en laboratorio. Para la extracción de los plaguicidas se utilizó el método EPA 3510c, extracción líquido-líquido con embudo de decantación modificado, donde se tomó 100 mL de muestra refrigerada, se adicionó 10 mL de hexano:acetona (80:20), para la separación de la fase acuosa y orgánica, esta última fue concentrada con flujo de nitrógeno, donde se obtuvo 1 ml que se conservó en frasco ámbar hasta el momento del análisis.

El análisis cromatográfico se realizó empleando el método EPA 8141^B con modificaciones, de cromatografía de gases con detector selectivo de masas (GC-MS) SHIMADZU QP2010S, Columna DB-5MS (30m X 0,25mm x 0,25µm), con temperatura del Inyector 250°C, modo de inyección splitless, detector modo full scan, interfase a 300°C, flujo de fase móvil Helio UAP a 1,0 mL/min.

Para la identificación y cuantificación de plaguicidas se emplearon estándares de POFs y carbofuran (Restek, Bellefonte y Chemservice- Supelco) analizados a las mismas condiciones operacionales y Espectros de Masas de las bases de datos Nist y Wiley Pesticides.

Análisis de datos. Para el 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 y la de agrupación para medias de mínimos cuadrados T para la comparación de medias poblacionales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Determinación y cuantificación de plaguicidas. La Tabla 2 indica los resultados del análisis cromatográfico de las muestras de agua de escorrentía en los tratamientos establecidos. El 48% de las muestras presentaron concentraciones por encima del límite de cuantificación. El plaguicida malatión se detectó en el 70% de las muestras analizadas, carbofuran en el 45% y clorpirifos en el 27%.

INECC (2013) reporta que el compuesto Piperazina es un fungicida concentrado, ligeramente tóxico y categoría toxicológica IV; el compuesto 2-Pirazolina-1-carboxaldehído, 5-tert-butil-5-hidroxi-3-metil- es fungicida organofosforado, categoría toxicológica III y moderadamente tóxico, por último, el 2(3H)-Furanona, 5-ethoxidihidro- es un compuesto oxidado derivado del Furano, altamente tóxico

Tabla 2. Identificación de plaguicidas

Plaguicidas de estudio	Carbofuran
	Clorpirifos
	Malatión
Compuestos residuales	Piperazina
	2-pirazolina-1-carboxaldehído, 5-terc-butil-5-hidroxi-3-metil-
	2(3H)-Furanona, 5-ethoxidihidro-

La frecuencia de detección de malatión en las muestras puede obedecer a las propiedades fisicoquímicas del agua, entre ellas el pH, cuando este plaguicida se encuentra en un medio acuoso ácido, disminuye la hidrólisis alcalina afectando la eficacia del ingrediente activo, favoreciendo su estabilidad en el medio (Mojica y Guerrero, 2013). La vida media del malatión es de 8 días, 3 días y 19 horas a pH de 6, 7 y 8 respectivamente (WHO, 2004; Fishel y Ferrel, 2013). Al respecto, los estudios de Kuster *et al.* (2008) y Vryzas *et al.* (2009), revelan que este compuesto se ha encontrado en repetidas ocasiones en aguas superficiales, debido a que no se adsorbe de forma importante en los suelos con texturas franco arenosas, pues estos tipos de suelos presentan mayor cantidad de macroporos, donde

se incrementa la conductividad hidráulica del agua y los solutos, permitiendo un menor tiempo de permanencia conllevando a su moderada a alta movilidad (FAO, 2000; ATSDR, 2003; Gervais *et al.* 2009; Armero y Guerrero, 2016).

Por otro lado, el carbofuran es un plaguicida de la familia de los carbamatos, de amplio espectro que se clasifica de móvil a moderadamente móvil en la matriz suelo (FAO, 2000; Valencia *et al.* 2008). Esto podría deberse a que este carbamato tiene una solubilidad en agua de 351 mg L⁻¹ y su coeficiente de adsorción (K_{OC}) es de 25 (Kegley *et al.*, 2016), indicando que existe una mayor concentración del plaguicida en la fase líquida, teniendo una alta movilidad a través de los poros del suelo, facilitando su percolación. La investigación de Castillo *et al.* (2016) afirma que el contenido de materia orgánica a veces puede causar un incremento en la movilidad de los plaguicidas, ya que el Carbono Orgánico Disuelto (DOC) sirve como medio para el movimiento hacia capas más profundas confirmando menores concentraciones en agua de escorrentía del presente estudio.

Con relación al clorpirifos, este es moderadamente persistente y presenta un K_{OC} mayor a 5000 (Upegui, 2010; Kegley *et al.*, 2016) teniendo una fuerte tendencia a ser retenido por el suelo, sedimentos y la materia orgánica, además su baja solubilidad en el agua (1,18 mg L⁻¹) dificulta el movimiento hacia este recurso. Sin embargo, existe un riesgo potencial, debido a que puede llegar en los sedimentos arrastrados por el agua de escorrentía, siendo su concentración menor y su descomposición tiende a ser más rápida (ATSDR, 2016) confirmando valores reportados por Narváez *et al.* (2014), además Márquez (2001) y Márquez *et al.* (2010) describen que el clorpirifos se encuentra parcialmente disponible para la vegetación, siendo otro componente en donde se acumula este plaguicida.

El análisis de varianza realizado para la concentración de plaguicidas detectó diferencias estadísticas altamente significativas entre tratamientos, muestreos y para la interacción plaguicida – tratamiento. Sánchez (2005) y Cucunubá (2014) establecen que el mayor problema del cultivo de papa como un agroecosistema es el alto uso de plaguicidas, ocasionando serios impactos ambientales. La prueba de comparación de medias de Tukey indicó que la concentración de los plaguicidas carbofuran y clorpirifos en los tratamientos no difieren estadísticamente entre sí.

Contrario a esto, el malatión presenta una concentración de 0,2051 mg L⁻¹ en T1 (papa tecnificada) difiriendo estadísticamente en T3 (pasturas) y T2 (papa convencional), con concentraciones de 0,1343 mg L⁻¹, 0,0780 mg L⁻¹ respectivamente, evidenciando una sobredosificación en la aplicación de estos productos y ante la resistencia desarrollada por las plagas, también se aumenta las dosis y las frecuencias de aplicación, Monroy (2009) afirma que el 32% de los agricultores cree que la dosificación recomendada en la etiqueta no funciona para controlar las plagas en comparación al 16% que considera que son óptimas y suficientes.

Con respecto a la concentración de carbofuran fue mayor en T1 y T3 con 0,07575 mg L⁻¹ para cada tratamiento, mientras en T2 fue de 0,0581 mg L⁻¹. Este plaguicida es ampliamente utilizado para el control de plagas en papa y en pastos, debido a que los pastos se consideran un cultivo y en la zona de estudio se requieren para ganadería (Posada-Flórez, 2014)

Como se observa en Figura 1, el clorpirifos registró menores concentraciones respecto a los demás plaguicidas en los tratamientos T2 (papa convencional) y T1 (papa tecnificada) con valores de 0,04134 mg L⁻¹, 0,0271 mg L⁻¹ y no detectado para T3 (pasturas) y T4 (suelo desnudo), que puede asociarse a una degradación hidrolítica de este plaguicida debido a su baja estabilidad en contacto con soluciones acuosas (Narváez *et al.*, 2014), su baja movilidad en el suelo y elevado potencial de bioconcentración en raíces, follaje, cáscara y porción interna de la papa (INECC, 2013; Benítez- Díaz *et al.*, 2015). Al respecto, Márquez (2001) citado por Posada-Flórez (2014), encontró una persistencia del clorpirifos superior a 60 días en el suelo y pasto en Antioquia.

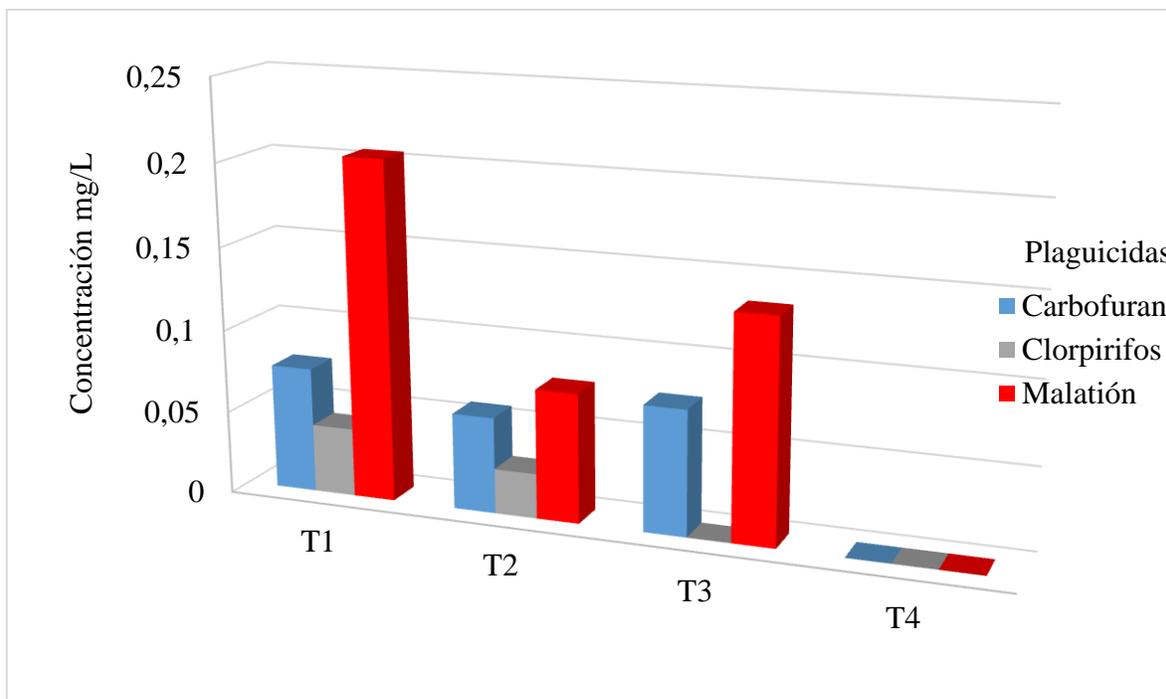


Figura 1. Concentración media de plaguicidas en cada tratamiento.

Cabe resaltar que en el T4 no se detectaron residuos de plaguicidas en el agua de escorrentía, donde la parcela se estableció en suelo sin ningún tipo de cobertura vegetal, que favoreció la degradación fotolítica. Adicional a esto, la vida media de los plaguicidas está determinada por el tipo de organismos presentes en el suelo, la textura, pH, temperatura, entre otros (INECC, 2013)

El agua de escorrentía proveniente de los tratamientos se puede considerar como vertimientos líquidos producto del lavado de contaminantes aplicados en la actividad agrícola, comparando con la clase y límites permisibles reportados por WHO (2010) y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2015), se obtienen los resultados descritos en la Tabla 3.

Tabla 3. Comparación normatividad y valores máximos de concentraciones de plaguicidas.

Tabla 2Ingrediente Activo	Clasificación	Clases	Valor máximo Cuantificado mg L⁻¹	Límite máximo permissible Resolución 631 de 2015 mg L⁻¹	Cumple
Carbofuran	Altamente peligroso	IB	0,28479	0,05	No
Clorpirifos	Moderadamente peligrosos	II	0,18552	0,10	No
Malatión	Ligeramente peligroso	III	0,43793	-	No aplica

El plaguicida carbofuran se categoriza en la clase de toxicidad IB con un límite máximo permisible de 0,05 mg L⁻¹, para clorpirifos con categoría toxicológica II y un límite máximo permisible de 0,10 mg L⁻¹ y para el malatión con categoría toxicológica III, no especifica un valor límite máximo permisible dentro de la norma colombiana; sin embargo, se incluye dentro de la sumatoria total de las concentraciones de plaguicidas por cada muestreo superando el límite máximo permisible de 1,00 mg L⁻¹. Las concentraciones por cada muestreo se indican en la Tabla 4.

Tabla 4. Concentración total de plaguicidas.

Muestreo	Concentración mg L⁻¹
1	1,536
2	1,320
3	3,884
4	2,385
5	1,468
6	1,053
7	2,262

Cuantificación de la escorrentía. El análisis de varianza de la cuantificación de escorrentía demuestra que existe una diferencia altamente significativa entre tratamientos, pero no detecta interacción entre las réplicas de las parcelas y tratamientos, se debe a que en las réplicas existen las mismas características morfométricas, estructurales y tipo de suelo.

Asimismo, la escorrentía superficial es un proceso mediante el cual se transportan pesticidas en formas disueltas o partículas a lo largo de la superficie de tierras agrícolas en pendiente (Tang *et al.*, 2012), pero los principales factores que afectan a la presencia de pesticidas en aguas de escorrentía son la textura y estructura del suelo, la profundidad del nivel freático, sistema de drenaje, las propiedades físico-químicas de plaguicidas, distribución de las precipitaciones, la tasa de aplicación de pesticidas y la temporada de aplicación (Reichenberger *et al.*, 2007).

El porcentaje de escorrentía fue en promedio de 2,4%. La prueba T de agrupación para medias de mínimos cuadrados, detectó que el T2 (papa convencional) con 2,67 litros representado un 27,7% del total de escorrentía generada y el T1 (papa tecnificada) con un promedio de 2,53 litros y 26,2% presentando los mayores valores en agua de escorrentía que difieren estadísticamente del T4 (suelo desnudo) con promedio 2,27 litros y T3 (pasturas) 2,16 litros con porcentajes de 23,6% y 22,5% respectivamente. (Ver

Tabla 5).

Tabla 5. Prueba de T Agrupamiento para medias de mínimos cuadrados tratamientos (Alpha=0,05)

LS-medias con la misma letra no son significativamente diferentes.			
Tratamiento	Descripción	Medias (Litros)	
T2	Papa convencional	2,6665	A
T1	Papa tecnificada	2,5264	B A
T4	Suelo desnudo	2,2774	B C
T3	Pasturas	2,1633	C

Los índices de escorrentía por hectárea del presente estudio representan en el T1 de 350,83 L* ha día⁻¹, para el T2 de 370, 42 L* ha día⁻¹ y valores mínimos en los tratamientos 3 y 4 con 316,25 y 300,42 L* ha día⁻¹ (Ver Tabla 6)

Tabla 6. Índice de escorrentía

Tratamiento	Área m ²	Escorrentía L* m ² día ⁻¹	Área (has)	Escorrentía L* ha día ⁻¹
T1	72	2,526	1	350,83
T2	72	2,667	1	370,42
T3	72	2,163	1	300,42
T4	72	2,277	1	316,25

Estudios realizados por Daza *et al.* (2014), Jaramillo (2002) y Hernández *et al.* (2009) demuestran que la disminución de la macroporosidad en suelos con cultivo de papa, donde realizan actividades como la labranza intensiva, pueden estar rompiendo los agregados del suelo, favoreciendo la dispersión de arcillas, las cuales van obstruyendo los poros y limitando la capacidad de retención de humedad, incidiendo en mayores índices de escorrentía en relación con suelos donde existe vegetación nativa. No obstante, Blanco *et al.* (2004) afirma que escorrentía en parcelas excesivamente labradas se relacionó con la conductividad hidráulica saturada (K_{sat}) donde la escorrentía aumentó. Así mismo, encontró que la labranza convencional tuvo el mayor efecto sobre las propiedades del suelo al disminuir su K_{sat} , densidad aparente y contenido de materia orgánica que contrastan con los tratamientos de labranza cero.

Con lo que respecta a los valores mínimos reportados en T4 y T3, esto se debe a que la escorrentía está relacionada negativamente con la cobertura vegetal, esto en zonas con un gran porcentaje de área descubierta, se observa que la escorrentía es mayor que en los sistemas con componente vegetal (Ríos, 2007), puesto que la vegetación tiene la propiedad de actuar como barrera capaz de interceptar las precipitaciones, variando su efecto y distribución bajo el área de cobertura (Velásquez, 2009). Igualmente, Valenzuela *et al.* (2001) menciona que el sistema radicular en pastos mejora la estabilidad y porosidad del suelo, contribuyendo a una mejor captación y penetración del agua en la matriz suelo. El

valor de las pendientes 67% y 55% para los tratamientos mencionados anteriormente, es una característica morfométrica que influye en la escorrentía, reafirmando lo mencionado por Velásquez (2009).

CONCLUSIONES

Se encontró la presencia de los plaguicidas malatión, carbofuran y clorpirifos en aguas de escorrentía provenientes de zonas agrícolas los cuales se clasifican como tóxicos, con concentraciones por encima del límite máximo permisible establecido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Los plaguicidas malatión y carbofuran, se encontraron en mayores concentraciones en las parcelas evaluadas que el plaguicida clorpirifos.

El manejo del cultivo de papa sugiere cambios en las propiedades físicas, favoreciendo la escorrentía superficial y el arrastre de plaguicidas a cuerpos de agua.

RECOMENDACIONES

- Será conveniente realizar modelaciones y simulaciones del comportamiento y movilidad de los plaguicidas en agua de escorrentía y flujos subsuperficiales.
- Identificar la ecotoxicidad de estos productos, por medio de bioensayos.
- Es necesario recopilar información para establecer criterios ambientales sobre la selección de plaguicidas considerando factores como la movilidad, toxicidad, persistencia, entre otros.
- Es conveniente realizar investigaciones sobre la concentración de plaguicidas en aguas superficiales, dentro de la parte alta de la cuenca del río Pasto
- Implementar un monitoreo ambiental de la concentración de plaguicidas en la cuenca del río Pasto; con el fin de obtener una línea base sobre la presencia de plaguicidas y componente residuales en agua, suelo y biota.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCALDÍA DE PASTO. 2009. 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>. 1 p.;Consulta: agosto, 2016.

ARMERO, A.; GUERRERO, D. 2016. Contaminación del suelo por plaguicidas carbofuran y organofosforados en un sistema productivo de papa. Tesis de grado Ingeniería Ambiental. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño. Pasto. 21 p.

ATSDR. AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. 2003. Toxicological profile for Malathion. Atlanta. 327 p.

ATSDR. AGENCIA PARA SUSTANCIAS TÓXICAS Y EL REGISTRO DE ENFERMEDADES. 2016. Resúmenes de salud pública – Clorpirifos (Chlorpyrifos). Atlanta. 6 p.

BENÍTEZ-DÍAZ, P.; MIRANDA, L.; MOLINA, Y., SÁNCHEZ, B., BALZA, A. 2015. Residuos de plaguicidas en la cáscara e interior de la papa (*Solanum tuberosum L.*) proveniente de una región agrícola del estado Mérida, Venezuela. *Bioagro*. 27(1):27 - 36.

BLANCO-CANQUI, H., GANTZER, C. J., ANDERSON, S. H., ALBERTS, E. 2004. Tillage and crop influences on physical properties for an Epiaqualf. *Soil Sci soc Am J*. 68:567 - 576.

CASTILLO, A., SUBOVSKY, M., RODRÍGUEZ, S., SOSA, A. 2006. Efecto de un suelo con distintos usos en la movilidad del carbofuran. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas*. Universidad Nacional del Nordeste. Argentina. 4 p.

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

CORPONARIÑO. 2011. Plan de Ordenación del río Pasto. En: <http://corponarino.gov.co/expedientes/descontaminacion/porhriopasto.pdf>; consulta: septiembre, 2016.

CUCUNUBÁ, L. 2014. Diagnóstico del manejo ambiental del cultivo de la papa pastusa, (*solanum tuberosum*), en un ecosistema de alta montaña, del municipio de Guatavita departamento de Cundinamarca. Trabajo de grado Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas. Universidad de Manizales. Manizales. 99 p.

DAZA, M.; HERNÁNDEZ F.; TRIANA F. 2014. Efectos del suelo en la capacidad de almacenamiento hídrico en el páramo de Sumapaz-Colombia Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín. 67(1):7189 - 7200.

DE GERÓNIMO, E.; APARICIO, V.; BÁRBARO, S.; PORTOCARRERO, R.; JAIME, S., COSTA, J. 2014. Presence of pesticides in surface water from four sub-basins in Argentina. Chemosphere. 107(1):423 - 431.

FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. 2000. Assessing soil contamination A reference manual. Editorial Group FAO Information Division. Rome. 155 p.

FAO. 2015. FAOSTAT. En: <http://faostat3.fao.org/download/E/EP/S>; consulta: septiembre, 2016

FISHEL, F.; FERREL, J. 2013. Water pH and the Effectiveness of Pesticides. IFAS Extension University of Florida. 3 p.

GERVAIS, J.; LUUKINEN, B.; BUHL, K.; STONE, D. 2009. Malathion Technical Fact Sheet; National Pesticide Information Center, Oregon State University Extension Services. En: <http://npic.orst.edu/factsheets/archive/malatech.html>. 18 p. Consulta: agosto de 2016

GUNNINGHAM,, N.; SINCLAIR, D. 2005. Policy instrument choice and diffuse source pollution. Journal of Environmental Law 17(1):51 - 81.

HERNÁNDEZ, F.; TRIANA, F.; DAZA, M. 2009. Efecto de las actividades agropecuarias en la capacidad de infiltración de los suelos del páramo del Sumapaz. *Ingeniería de los Recursos Naturales y del Ambiente* 8: 29-38.

HUI, T.; ARIFFIN, M.; TAHIR, N. 2010. Adsorption of formulated chlorpyrifos on selected agricultural soils of Terengganu. *The Malaysian Journal of Analytical Sciences*. 14(2):76-81.

IGAC. INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. 2004. Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Nariño. IGAC. Tomo I. p 101

INECC. INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO. 2013. Fichas técnicas de seguridad de plaguicidas y excipientes. 8 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS (ICONTEC). 1995. Norma Técnica Colombiana ISO 5667 – 2. Bogotá. 17 p.

IPPOLITO, A.; KATTWINKEL, M.; RASMUSSEN, J.; SCHÄFER, R.; FORNAROLI, M. 2015. Modeling global distribution of agricultural insecticides in surface waters. *Environmental Pollution*. 198(1):54 - 60

JARAMILLO, D. 2002. Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 652 p.

JARAMILLO, F.; MELÉNDREZ, M.; ALDANA, M. 2009. Toxicología de los plaguicidas. En F. Jaramillo, A. Rincón, & R. Rico, *Toxicología Ambiental*. México. 270 p.

KEGLEY, S.; COLINA, B.; ORME, C. 2016. PAN Pesticide Database. Pesticide Action Network. Oakland. 8 p.

KUSTER, M.; LÓPEZ, M.; BARATA, C.; RALDÚA, D.; BARCELÓ, D. 2008. Analysis of 17 polar to semi-polar pesticides in the Ebro river delta during the main growing season of rice by automated on-line solid-phase extraction-liquid chromatography–tandem mass spectrometry. *Talanta*. 75(2):390 – 401

- LUO, Y.; ZHANG, X.; LIU, X.; FICKLIN, D.; ZHANG, M. 2008. Dynamic modeling of organophosphate pesticide load in surface water in the northern San Joaquin Valley watershed of California. *Environmental Pollution*. 156. 1171 – 1181 p.
- MÁRQUEZ, S. 2001. Evaluación de algunos efectos de la aplicación de Lorsban (Clorpirifos) en un suelo y un cultivo de Kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst ex Chiov.), en el norte antioqueño. Trabajo de grado. Universidad de Antioquia. Medellín.
- 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*, 23(2), 158-165.
- MARTÍNEZ, J.; PLAZA-BOLAÑOS, P.; ROMERO-GONZÁLEZ, R.; GARRIDO, A. 2009. Determination of pesticide transformation products: A review of extraction and detection methods. *Journal of Chromatography A*. 1216(40):6767 – 6788.
- MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. 2015. Resolución 0631. Bogotá. 62 p.
- MOJICA, A.; GUERRERO, J. 2013. Evaluación del movimiento de plaguicidas hacia la cuenca del lago de Tota, Colombia. *Revista Colombiana de Química*. 42(2):1 - 27 p.
- MONROY, O. 2009. Caracterización de las prácticas agrícolas asociadas con el uso y manejo de plaguicidas en cultivos de papa. caso vereda Mata de Mora, en el páramo de Merchán, Saboya, Boyacá. Trabajo de grado Magister en Gestión Ambiental. Facultad de Estudios Ambientales y Rurales. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá. 99 p.
- MORALES, C.; RODRÍGUEZ, 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. *Revista Electrónica de Veterinaria*. 11(1): 1 – 22 p.
- NARVÁEZ, J.; BERRIO, J.; CORREA, S.; PALACIO, J.; MOLINA, F. 2014. EGRADACIÓN Hidrolítica de clorpirifos y evaluación de la toxicidad del extracto hidrolizado con *daphnia pulex*. *Revista Politécnica*. 10(18):9 – 15 p.

- NASRABADI, T.; NABI, G.; KARBASSI, A.; GRATHWOHL, P., MEHRDADI, N. 2011. Impact of major organophosphate pesticides used in agriculture to surface water and sediment quality (Southern Caspian Sea basin, Haraz River). *Environmental Earth Sciences*. 63(4): 873-883
- PERFETTI, J.; ESCOBAR, D.; CASTRO, F.; CUERVO, B.; RODRÍGUEZ, M.; VARGAS, J.; ACOSTA, S.C., 2012. Consultoría sobre costos de producción de doce productos agropecuarios. Informe Final Asoc. Colombiana Para Avance Ciencia. 310 p
- POSADA-FLÓREZ, F.; TÉLLEZ, L.; SIMBAQUEBA, R.; SERNA, F. 2014. Reconocimiento y observaciones bionómicas de *Sipha Flava* (hemiptera: aphididae) atacando el pasto kikuyo en dos zonas de Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*. 17(1): 95 – 104
- REICHENBERGER, S.; BACH, M.; SKITSCHAK, A.; FREDE, H.-G., 2007. Mitigation strategies to reduce pesticide inputs into ground- and surface water and their effectiveness: a review. *Science of The Total Environment*. 384(1-3) 1–35.
- RIOS, J .2006. Comportamiento hidrológico de sistemas de producción ganadera convencional y silvopastoril en la zona de recarga hídrica de la subcuenca del Río Jabonal, cuenca del Río Barranca, Costa Rica. Tesis de grado Magister Scientiae en Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas. CATIE. Turrialba. 116 p.
- RÍOS, N.; CARDENAS, A.; ANDRADE, H. J.; IBRAHIM, M.; JIMÉNEZ, F.; SANCHO, F.; RAMIREZ E.; REYES B.; WOO, A. 2007. Escorrentía superficial e Infiltración en sistemas ganaderos convencionales y silvopastoriles en el trópico subhúmedo de Nicaragua y Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 45:66-71.
- SALAS, C. 2011. Comportamiento hidrológico y erosivo en usos de suelo prioritarios de la campiña lechera en Santa Cruz, Turrialba, Costa Rica. Tesis de grado Magister Scientiae en Agroforestería Tropical. CATIE. Turrialba. 115 p.
- SÁNCHEZ, F. 2005. Evaluación económico-ambiental de la producción de la papa en Colombia. *Tecnogestión. Una mirada al ambiente*. 2(1):56 – 58.

TANG, X.; ZHU, B.; KATOU, H., 2012. A review of rapid transport of pesticides from sloping farmland to surface waters: processes and mitigation strategies. *Journal of Environmental Sciences*. 24(3): 351–361.

TRIVIÑO, I. 2008. Un equipo para medidas de desagüe y muestreo de escorrentía en parcelas experimentales. *Ingeniería del agua*. 15(3): 9

UPEGUI, S. 2010. Evaluación de mezclas compost inmaduro/suelo de Moravia, y fuentes de nutrientes para la degradación de los pesticidas clorpirifos, malatión y metil paratión. Tesis de Magister en Ingeniería Urbana. Facultad de Ingenierías. Universidad de Medellín. Medellín. 171 p.

VALDERRAMA, J.; PALACIO, J.; MOLINA, F. 2012. Persistencia de plaguicidas en el ambiente y su ecotoxicidad: Una revisión de los procesos de degradación natural. *Revista Gestión y Ambiente*. 15(3): 10 p.

VALENCIA, E.; GUERRERO, J.; YUNDA, A.; MARTÍNEZ, M. 2008. Evaluación de la adsorción-desorción de 14c-carbofuran y Furadan 3sc® en tres suelos de Cundinamarca (Colombia). *Revista Colombiana de Química*. 73(1):79 – 91 p.

VALENZUELA, I.; PEREA, G.; AMÉZQUITA, C. 2001. Evaluación del agua gravitacional a través del perfil de un suelo de la altillanura. *Revista suelos ecuatoriales*. 31(2): 210-214 p.

VARCA, L. 2012. Pesticide residues in surface waters of Pagsanjan-Lumban catchment of Laguna de Bay, Philippines. *Agricultural Water Management*. 106. 35-41 p.

VELÁSQUEZ F., JARAMILLO A. 2009. Redistribución de la lluvia en diferentes coberturas vegetales de la zona cafetera central de Colombia. *Revista Cenicafé* 60 (2): 148-160.

VRYZAS, Z.; VASSILIOU, G.; ALEXOUDIS, C.; PAPADOPOULOU-MOURKIDOU, E. 2009. Spatial and temporal distribution of pesticide residues in surface waters in northeastern Greece. *Water Research*. 43(1):1 – 10

VYMAZAL, J.; BŘEZINOVÁ, T. 2015. The use of constructed wetlands for removal of pesticides from agricultural runoff and drainage: A review. Environmental International. 75. 11- 20 p.

WHO. WORLD HEALTH ORGANIZATION. 2004. Malathion in Drinking-water. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. En: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/malathion.pdf. 14 p. Consulta: agosto de 2016

WHO. WORLD HEALTH ORGANIZATION. 2010. The WHO recommended classification of pesticides by hazard and guidelines to classification: 2009. Switzerland. 81p.