

# Análisis de los efectos generados en el suelo a causa de la inadecuada disposición de envases de agroquímicos en la vereda Lavadero, Fómeque, Cundinamarca, Colombia

*Analysis of the Effects Generated in the Soil due to the Inadequate Disposal of Agrochemical Containers in the Vereda Lavadero, Fómeque, Cundinamarca, Colombia*

Daniela Guzmán-Bejarano<sup>a, d</sup>, Liliana Figueroa-Del-Castillo<sup>b</sup>,  
Laura Cabezas<sup>c</sup>

## RESUMEN

Los envases plásticos empleados en la producción agrícola una vez cumplen su vida útil y si su disposición final no es la adecuada pueden llegar a impactar negativamente al ambiente debido a su lenta degradación y fragmentación en microplásticos; motivo por el cual fue de interés analizar los efectos de estos sobre las propiedades fisicoquímicas de los suelos de la vereda Lavadero, área rural del municipio de Fómeque, Cundinamarca. El estudio fue realizado en el segundo semestre del 2019, donde se entrevistó al total agricultores (33) por medio de una encuesta piloto, adicionalmente, se realizó un muestreo de suelos en cuatro diferentes puntos para comparar con un suelo de bosque natural (blanco), evaluando propiedades como pH (método conductimétrico), densidad aparente (ecuación), saturación de humedad (método gravimétrico), materia orgánica (Walkley Black modificado) y textura (Bouyoucos). Como resultados se obtuvo que las prácticas predominantes para la disposición final de los envases fueron la quema y abandono sobre el suelo. El efecto sobre las propiedades de los suelos comparado con el blanco está dado por la disminución de los valores de materia orgánica (8,55 %) y saturación de humedad (81 %) y el aumento en pH (5,24) y densidad aparente (0,95 g cm<sup>3</sup>). El análisis mediante la matriz Conesa, permitió concluir que los suelos de la vereda Lavadero presentan un impacto de moderado a severo y se considera necesario desarrollar actividades que mitiguen y controlen los aspectos negativos con el fin de contribuir en la calidad del suelo de la zona de estudio.

**PALABRAS CLAVE:** plástico; disposición final; suelo; envases; quema; matriz Conesa.

## ABSTRACT

Plastic containers used in agricultural production once they reach their useful life and if their final disposal is not adequate, they can have a negative impact on the environment due to their slow degradation and fragmentation into microplastics; for this reason it was of interest to analyze the effects of these on the physicochemical properties of the soils of the Vereda Lavadero, rural area of the municipality of Fomeque, Cundinamarca. The study was conducted in the second semester of 2019, where the total number of farmers (33) was interviewed by means of a pilot survey, additionally, soil sampling was carried out in four different points to compare with a natural forest soil (white), evaluating properties such as pH (conductimetric method), bulk density (equation), moisture saturation (gravimetric method), organic matter (modified Walkley Black) and texture (Bouyoucos). The results showed that the predominant practices for the final disposal of the containers were burning and abandonment on the ground. The effect on soil properties compared to the blank is given by the decrease in the values of organic matter (8.55 %) and moisture saturation (81 %) and the increase in pH (5.24) and bulk density (0.95 g cm<sup>3</sup>). The analysis using the Conesa matrix led to the conclusion that the soils of the vereda Lavadero have a moderate to severe impact and it is considered necessary to develop activities to mitigate and control the negative aspects in order to contribute to the quality of the soil in the study area.

**KEY WORDS:** plastic; final disposal; soil; containers; burning; Conesa matrix.

a Universidad El Bosque, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Ambiental. Bogotá, Colombia. ORCID Guzmán-Bejarano, D.: 0000-0003-4976-5285

b Universidad El Bosque, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Ambiental; Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Grupo de investigación en Ciencias Planetarias y Astrobiología (GCPA). Bogotá, Colombia. ORCID Figueroa-Del-Castillo, L.: 0000-0003-2326-6904

c Universidad El Bosque, Instituto de Salud y Ambiente. Bogotá, Colombia. ORCID Cabezas, L.: 0000-0003-2435-763X

d Autor de correspondencia: dguzmanb@unbosque.edu.co

Recepción: 19 de octubre de 2020. Aceptación: 15 de junio de 2021

## **Introducción**

La disposición final de residuos plásticos como envases de agroquímicos no siempre es la apropiada, en ocasiones son dispuestos en el suelo o en áreas cultivadas, también pueden ser quemados a cielo abierto, lo que conlleva a una alteración paisajística en los ecosistemas, así como afectaciones en la salud de las personas (Cubides y Montaña, 2017).

Adicional a esto, el estudio De Souza et al. (2018), determinaron que la disposición del plástico en el suelo altera algunas de sus propiedades, tal es el caso de la densidad aparente, debido a que ese material es menos denso que algunos minerales naturales, lo que repercute en la disponibilidad de nutrientes para ser tomados por la planta, y en la capacidad de retención de agua por el aumento de la humedad y la evapotranspiración, ocasionando cambios tanto en la dinámica del movimiento de nutrientes como en la presencia, diversidad y actividad microbiana del suelo, el plástico no se biodegrada sino que se fragmenta en microplásticos los cuales pueden llegar a afectar la estructura del suelo generando disminución en la estabilidad de agregados, los casos en mención presentan impactos negativos en la funcionalidad del suelo no solo a nivel físico, sino químico y biológico alterando la sostenibilidad del mismo.

Otra práctica por parte de los agricultores para la eliminación de residuos plásticos es la quema, que a largo plazo presenta una disminución de la fertilidad, destrucción de la capa vegetal y pérdida de la humedad de suelo, generando una disminución en el rendimiento de los cultivos, así como la desaparición de microorganismos benéficos para el suelo (Ize, 2014), sumado a la pérdida de potencialidad del recurso.

La quema genera cambios en las propiedades del suelo y como consecuencias de esta práctica se encuentran la modificación de la estructura por la mineralización parcial de los horizontes orgánicos, pues la temperatura deteriora la estabilidad de los agregados por la destrucción de la materia orgánica y las arcillas minerales ocasionando una reducción de la porosidad y por consiguiente, un aumento de la escorrentía y la erosión (De Luis et al., 2003), así mismo, se presentan cambios físicos en el suelo como un aumento de la densidad aparente y reducción de la porosidad (Soto, 2009).

En relación con el análisis de las propiedades físicas del suelo como la densidad aparente, la infiltración y el porcentaje de humedad, Sandoval y Suárez (2017), encontraron cambios en los parámetros asociados al almacenamiento y movimiento del agua dentro del perfil del suelo, tal fue el caso de algunas propiedades químicas como el pH, evidenciando un aumento en la acidez, producto de la temperatura, destrucción de la materia orgánica ocasionando reducción en las comunidades microbianas, situaciones también relacionadas con la adición de ceniza, oxidación rápida de la materia orgánica incinerada y disminución en los porcentajes de la humedad del suelo.

De acuerdo con los estudios de Zenner y Peña, (2013) y Brodhagen et al. (2017), se evidencia que los suelos agrícolas están siendo afectados por el uso de diferentes polímeros sintéticos empleados en la fabricación de invernaderos, microtúneles, acolchado o mulching, mallas para sombrío, envases y empaques de insumos químicos todos utilizados en la producción agrícola.

Esta problemática se conoce como contaminación blanca, y hace referencia a la acumulación masiva de residuos plásticos en el ambiente debido a que han llegado al final de su vida útil, lo que presenta una inadecuada disposición. Como bien se mencionó, este tipo de contaminación genera repercusiones tanto en la salud del suelo como en la seguridad alimentaria debido a que en el proceso de deterioro del plástico es común que se liberen sustancias tóxicas, que se caracterizan por ser resistentes a la degradación ambiental y por tanto tienden a acumularse en el suelo y agua (Wang et al., 2019).

El plástico al no degradarse fácilmente persiste durante un tiempo prolongado en el suelo bajo la formación de residuos más pequeños denominados microplásticos (Bläsind y Amelung, 2018), los cuales se fragmentan en la superficie del suelo a causa de la radiación UV y las elevadas temperaturas (Chae y An, 2018). Estos microplásticos se vuelven parte de una mezcla compleja de materia orgánica y sustituyentes minerales, puesto que pueden ser incorporados en la capa superior del suelo o debajo de la capa de arado a lo largo de las grietas, mediante el labrado de la tierra o por bioturbación (Bläsind y Amelung, 2018), igualmente, pueden transportarse a las capas

más profundas de la tierra por las actividades de organismos del suelo como lombrices, insectos y las plantas (Chae y An, 2018). Esta situación resulta ser preocupante, dado que para el año 2017, se estimó que en tierra se encontraba más de 300 millones de toneladas de microplástico acumulado, los cuales pueden cambiar la biomasa de las plantas, la composición elemental de los tejidos vegetales, los rasgos de las raíces y la actividad microbiana del suelo (Wang et al., 2019).

Por otro lado, también llama la atención la contaminación por plaguicidas que se acumulan en la cobertura plástica del recipiente y en ocasiones los envases con agroquímicos se vuelven susceptibles a la fotodegradación, generando partículas plásticas de menor tamaño en la superficie del suelo (Ling et al., 2018). Sumado al efecto negativo que puede generar el uso de agroquímicos sobre la interacción de las matrices suelo, agua y aire, siendo una consecuencia ecológica, sanitaria y de salud pública (Ongley, 1997).

En el trabajo de Pinto (2017), se manifiesta que, como consecuencia de la amplia distribución de los plaguicidas y fertilizantes en el aire, suelo, agua y biota, se produce una acumulación variable de los mismos en todos los eslabones de la cadena trófica.

La principal actividad económica del municipio de Fómeque, Cundinamarca, es la agrícola, por lo tanto, es común que se presente un elevado consumo de agroquímicos, con el fin de favorecer en el rendimiento de los cultivos, así como en el control de plagas y enfermedades (Arévalo et al., 2014). Dentro de las principales prácticas de los agricultores a la hora de disponer envases vacíos de agroquímicos, se ha encontrado que no es adecuada y generan impactos en el medio ambiente y la salud humana (Pacheco e Itatí, 2017). Esto se debe a que los residuos como contenedores de sustratos, envases y empaques de agroquímicos, una vez llegan al final de su vida útil no cuentan con un lugar para la disposición, y por lo tanto en algunas ocasiones son dispuestos en el suelo o quemados a cielo abierto, lo cual contribuye con la degradación del paisaje y con la contaminación del recurso suelo.

En la mayoría de los casos los envases son elaborados con polietileno de baja o alta densidad

(Wang et al., 2019), y sumado a esto, cuentan con contenido peligroso, ya que son fabricados a partir de diferentes principios activos a los que se asocian diluyentes denominados ingredientes inertes, que constituyen una gran proporción del producto y cuyos efectos nocivos superan frecuentemente los del propio ingrediente activo, lo que hace sea difícil su manejo, de ahí que existan diferentes clasificaciones, que favorecen el trabajo de las personas que interactúan con ellos, además de tener cierto control sobre los efectos adversos sobre el ambiente y la salud (Del Puerto et al., 2014).

De acuerdo con lo anterior, la presente investigación analizó mediante la matriz Conesa el impacto generado en algunas propiedades fisicoquímicas de 5 puntos de muestreo de suelos con respecto a la disposición final de envases vacíos de agroquímicos de la vereda Lavadero, del municipio de Fómeque en el departamento de Cundinamarca.

## Materiales y métodos

### Contexto geográfico de la zona de estudio

En la Figura 1, se observa la ubicación geográfica del municipio de Fómeque que está situado en la provincia de Oriente del departamento de Cundinamarca, Colombia localizado a 56 km de la capital (Bayona y Muñoz, 2009). El municipio está conformado por treinta y dos veredas (Alcaldía Municipal de Fómeque, 2016), se resalta en color café la vereda Lavadero con un área de 493,217 hectáreas (ha), dato obtenido con el programa ArcMap (Esri Inc, 2020a), y cuenta con 254 habitantes en la vereda (DANE, 2016).

El municipio cuenta con una amplia variedad de relieve y los niveles de altitud oscila entre 800 y 3.200 metros sobre el nivel del mar (msnm); cuenta con una temperatura promedio de 18°C (Bayona y Muñoz, 2009), adicionalmente, es de importancia ambiental para la región teniendo en cuenta que la mayor parte de su extensión territorial está conformada por áreas de páramo, bosque alto andino y el Parque Nacional Natural Chingaza que representa aproximadamente el 49 % del territorio de Fómeque (Alcaldía Municipal de Fómeque, 2016).

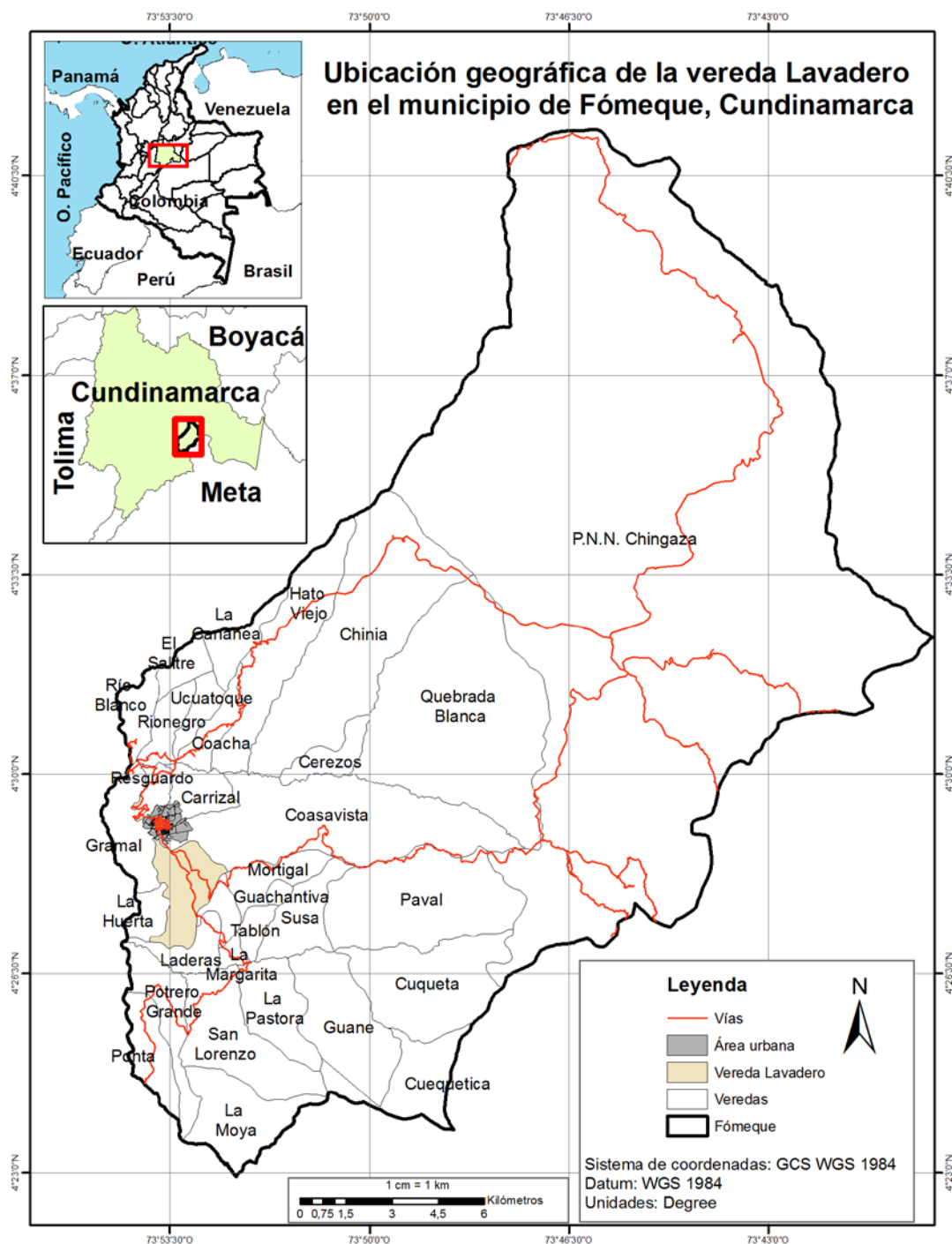


Figura 1. Mapa de la ubicación geográfica de la vereda Lavadero en el municipio de Fômeque. Fuente: elaboración propia

Por otro lado, el municipio de Fômeque se caracteriza por presentar tierras forestales protectoras-productoras de clima frío y húmedo a muy húmedo, generalmente están localizadas en laderas del paisaje de montaña en sectores de alta a muy alta amenaza sísmica, se identifican por presentar fuertes

pendientes, son áreas propensas a procesos erosivos y movimiento de masa (Garzón et al., 2000).

En cuanto a la geología del municipio se presenta depósitos piroclásticos y cenizas, se incluyen pequeños sectores cubiertos por las cenizas volcánicas en los niveles altos de las terrazas y en los cerros de

Fómeque, estos depósitos provienen de las principales fases de la actividad de los volcanes del complejo Ruiz-Santa Isabel-Tolima, localizados en la cordillera central. Estos depósitos de ceniza constituyen el material parental a partir del cual se han formado los suelos de páramo y algunas depresiones fluvio-Lacustres en la cordillera oriental (Vargas et al., 2004).

En el mapa de suelos del departamento de Cundinamarca realizado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi “IGAC” (2017), se identificó que la vereda Lavadero cuenta con cinco unidades cartográficas del suelo (UCS), las cuales incluyen información del paisaje, clima, relieve, litología, y suelos característicos de la zona de estudio (FAO, 2009); para el presente estudio y de acuerdo con la Figura 2 se observan en tonalidad amarilla la unidad cartográfica MLT<sub>d</sub>, dentro de la cual se ubicaron cuatro puntos de muestreo de suelos (M01, M02, M03 y

M05) con diferente disposición de envases de agroquímicos, y en tono café se ubicó la unidad cartográfica MLV<sub>f</sub> correspondiente al punto de bosque natural (blanco) codificado como M04.

De acuerdo con el mapa anterior, la unidad cartográfica del suelo MLV<sub>f</sub> de color café, corresponde a la cobertura de bosque natural, donde se ubica el punto M04, se caracteriza por presentar un paisaje de montaña, clima de frío a húmedo, relieve de crestones, la litografía son rocas clásticas arenosas limo arcillosas y química carbonatadas con algunos depósitos de ceniza volcánica (Soil Survey Staff, 2014).

La clasificación taxonómica a nivel de subgrupos de los suelos, corresponde a la asociación *Humic lithic eutrudepts - Typic placudands - Dystric eutrudepts*, el primero caracterizado por ser enriquecido de materia orgánica y saturación de bases, con un contacto lítico dentro de los primeros 50 cm del

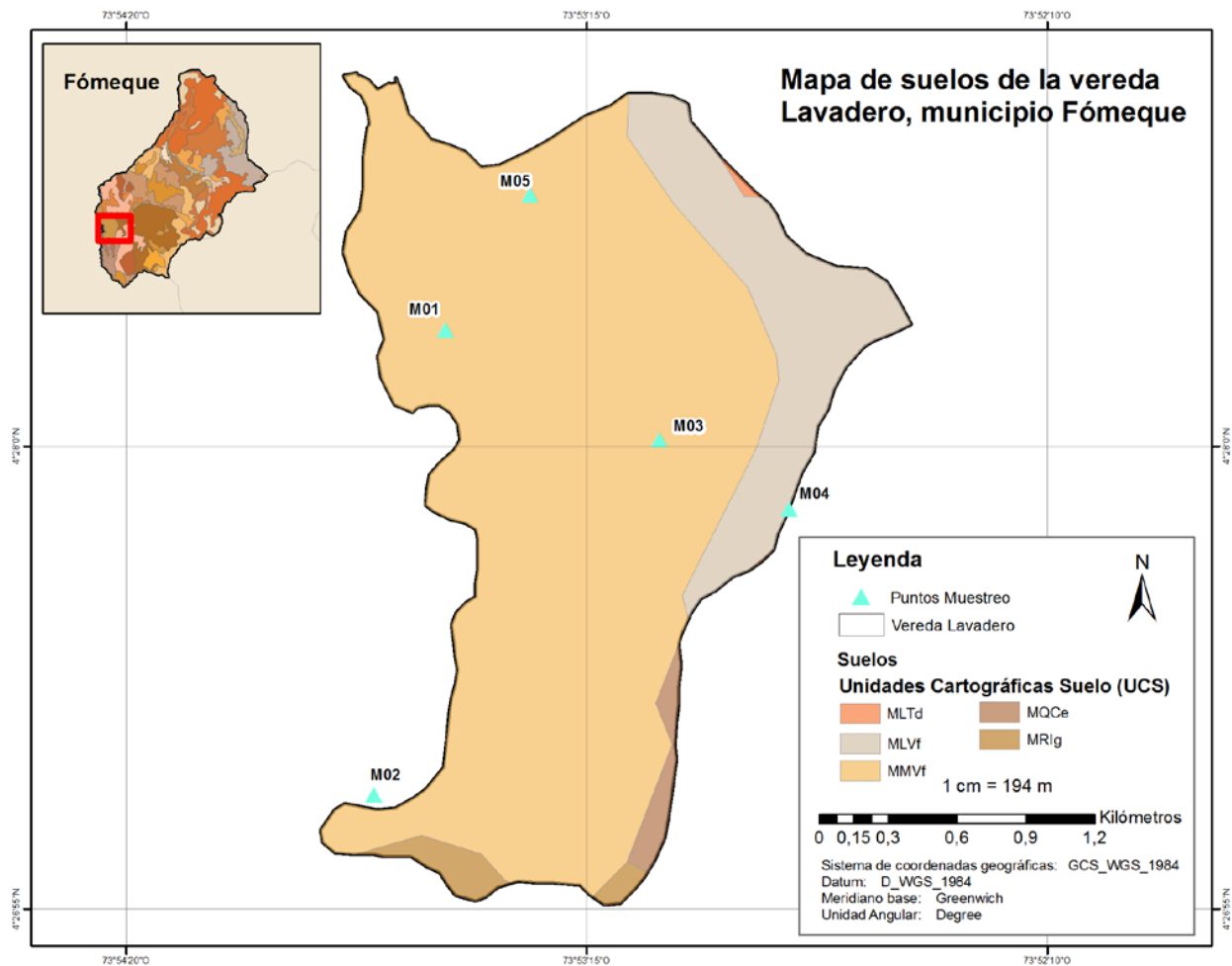


Figura 2. Mapa de suelos correspondientes a la vereda lavadero de Fómeque. Fuente: elaboración propia

perfil del suelo, y orden Inceptisol, En cuanto al segundo subgrupo se caracteriza por tener horizonte plácico (capa delgada cementada por hierro y materia orgánica) dentro los 100 cm de la superficie del suelo mineral o de la parte superior de una capa orgánica con propiedades ándicas, lo cual se expresa posiblemente en un contenido de alófanos que favorece condiciones de humedad y del elemento fósforo factores determinantes para el crecimiento vegetal, y del orden Andisol. Finalmente, el tercer subgrupo se caracteriza por bajos contenidos de carbonatos libres dentro de los 100 cm de la superficie del suelo mineral (Soil Survey Staff, 2014) y al igual que el primer subgrupo del orden Inceptisol, cabe anotar que este orden es el más abundante en los suelos colombianos. En los tres casos presentan un régimen edáfico údico expresado en condiciones de humedad presentes la mayor parte del año producto del clima de la zona, y son suelos de jóvenes a maduros, es decir en constante evolución.

La siguiente unidad cartográfica del suelo que abarca los puntos de muestreo evaluados es MLT<sub>d</sub>, en la Figura 2 se ubican en color amarillo los puntos M01, M02, M03 y M05, distribuidos equitativamente con el fin de abarcar el área de la vereda Lavadero, esta unidad cartográfica se caracteriza por presentar un paisaje de montaña, clima frío a húmedo, el relieve con algunas cuestas, su litografía son depósitos de ceniza volcánica sobre rocas clásticas limo arcillosas, se encuentra la asociación *Typic hapludands - Andic dystrodepts*, ambos se diferencian en que uno pertenece al orden Andisol y el otro es un Inceptisol, en común son suelos con propiedades ándicas descrito anteriormente, y adicional se tiene en cuenta que la densidad aparente es de 1,0 g cm<sup>3</sup>, con retención de agua de 33 Kilopascales (kPa) y porcentaje (%) de aluminio (Al) y hierro (Fe) (Soil Survey Staff, 2014).

De acuerdo con lo anterior, los suelos de la zona de estudio corresponden a los órdenes Inceptisol y Andisol, que se caracterizan por tener un grado de desarrollo moderado, depositación de cenizas volcánicas producto de la dispersión del viento las cuales al descomponerse favorecen la presencia de alófanos mineral que se caracteriza por aportar fósforo y mejorar la retención de humedad en el suelo, sumado a la diversidad de condiciones ya descritas.

## Diagnóstico inicial del manejo final de envases de agroquímicos

Para identificar las prácticas de disposición final, los días 4, 9 y 31 de agosto del año 2019, se realizó una encuesta piloto (Anexo 1), a 33 agricultores de la vereda Lavadero según los datos obtenidos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2016), donde se identificaron las acciones que realizan en la zona al disponer los residuos de envases vacíos de agroquímicos, con el fin, de obtener un primer diagnóstico que genere información exacta y de fuente primaria.

La encuesta piloto fue estructurada con nueve preguntas, abiertas y cerradas, con el propósito de conocer el tipo y área de cultivo, el tipo de producto de síntesis u orgánico que se aplican en los cultivos, la cantidad y la frecuencia con la que se aplica el producto, el material de los envases de agroquímicos, la marca de los agroquímicos, la disposición de estos residuos de envases, el dinero que invierten en la compra de insumos químicos y finalmente, si el encuestado ha recibido capacitación acerca de la disposición final de los envases de agroquímicos.

## Muestreo de suelo

El 31 de agosto del 2019, se realizó un muestreo de suelo, en cinco puntos seleccionados según su característica de disposición final, con el fin, de conocer el estado actual del suelo de la vereda Lavadero, mediante el análisis de algunas propiedades fisicoquímicas tomados como indicadores de calidad de uso del suelo, los cuales fueron pH (conductimétrico), densidad aparente (ecuación), saturación de humedad ( método gravimétrico), materia orgánica - carbono orgánico (método Walkley Black modificado) y textura ( método Bouyoucos), que de acuerdo con De Souza et al. (2018), Ize (2014), Soto (2009), Sandoval y Suárez (2017), entre otros determinaron alteraciones negativas sobre los indicadores en mención posiblemente producto de la disposición final de envases de agroquímicos.

Seguido de obtener los puntos de muestreo seleccionados, se procedió a la recolección de las muestras de suelo, tomando como referencia el método analítico del laboratorio de suelos del IGAC (2006), se empleó el método de muestreo para el presente

**Tabla 1.** Identificación de los cinco puntos de muestreo de suelo en la vereda Lavadero, Fómeque

Codificación de la muestra de suelo	Relación disposición final-suelo	Pendiente del suelo (%)
Mo4 (blanco)	Sin envases ni vestigios de quemados	7,20
Mo1	Quema envases	32,4
Mo2	Quema envases	8,20
Mo3	Abandono en el suelo	11,5
Mo5	Quema envases	19,3

Elaborado por autores

estudio en zig zag, que consistió en tomar una muestra de suelo integrada por 15 submuestras homogeneizadas en un balde, a una profundidad de 20 cm, para un total de 5 muestras de suelo (Tabla 1), cada una de 1 kg de suelo las cuales fueron empacadas cada una, en bolsas plásticas ziploc, selladas y rotuladas con la información (código, fecha y relación disposición final- suelo), posteriormente llevadas a analizar al laboratorio AGRILAB en la ciudad de Bogotá. La Tabla 1 sintetiza la información de cada punto de muestreo con disposición final-suelo y el porcentaje de pendiente del suelo.

De acuerdo con lo anterior, se observa la relación disposición final – suelo en su mayoría es por quema de envases vacíos de agroquímicos, para tres de cinco puntos de muestreo, en cuanto al porcentaje de pendiente del suelo, el rango fue entre 7,20 a 32,4 %.

### Matriz Conesa

La matriz de Vicente Conesa es un elemento metodológico para realizar una evaluación de impacto ambiental, que se emplea para identificar y valorar de forma detallada las amenazas ambientales que una actividad pueda generar (Martínez, 2010). La metodología Conesa se basa en la calificación de 11 atributos (Tabla 2) de manera subjetiva, empleando escalas cualitativas o adjetivos donde se asigna un valor numérico de manera en que se presenta el impacto (Toro et al., 2016).

Para la investigación se realizó una adaptación a la matriz Conesa, con el fin de evaluar y relacionar las afectaciones en las propiedades fisicoquímicas del suelo con el abandono y la quema a cielo abierto de envases vacíos de agroquímicos, por ende, se dividió en dos temáticas, la social y ecológica. Respecto a la primera temática se evaluó la cantidad generada de envases plásticos y la escasa frecuencia con la que se realizan capacitaciones relacionadas

con el manejo de envases de agroquímicos, mientras que, para el aspecto suelo en el componente ecológico, se identificaron los principales impactos relacionados con la disposición final de envases mediante las respuestas de los agricultores encuestados, determinando la quema a cielo abierto y el abandono en suelo como las principales formas de eliminación de estos residuos plásticos. Posteriormente, se relacionó la disposición final de envases con los resultados obtenidos de la caracterización de algunas propiedades fisicoquímicas como pH, saturación de humedad, carbón orgánico, materia orgánica, densidad aparente y textura.

Finalmente, se evaluó mediante los criterios de la metodología Conesa (Tabla 2) y se obtuvo un grado de importancia asociado con el impacto analizado, con el fin de conocer la intensidad con la que afecta y así lograr dar posibles recomendaciones a dichas afectaciones.

Dada la valoración se procede a encontrar el grado de importancia a partir de la siguiente ecuación propuesta por de Conesa (citado en Toro et al., 2016).

La ecuación (1) describe el grado de importancia según la valoración con la metodología Conesa.

$$I = [(3In) + (2Ex) + Mo + Pe + Rv + Rc + Si + Ac + Ef + Pr] \quad (1)$$

donde;

*I*: Importancia del impacto

*In*: Intensidad

*Ex*: Extensión

*Mo*: Momento

*Pe*: Persistencia

*Rv*: Reversibilidad

*Rc*: Recuperabilidad

*Si*: Sinergia

*Ac*: Acumulación

*Ef*: Efecto

*Pr*: Periodicidad

**Tabla 2.** Criterios y valoración de la matriz de Conesa

Criterio	Rango	Criterio	Rango
Naturaleza (Nat)	Impacto positivo (+) Impacto negativo (-)	Intensidad (In)	Baja (1) Media (2) Alta (4) Muy alta (8) Total (12)
Extensión (Ex)	Puntual (1) Parcial (2) Extensa (4) Total (8) Crítica (+4)	Momento (Mo)	Largo plazo (1) Mediano plazo (2) Corto plazo (3) Inmediato (4) Crítico (+4)
Persistencia (Pe)	Fugaz (1) Temporal (2) Persistente (3) Permanente (4)	Reversibilidad (Rv)	Corto plazo (1) Mediano plazo (2) Largo plazo (3) Irreversible (4)
Recuperabilidad (Rc)	Inmediata (1) Corto plazo (2) Mediano plazo (3) Largo plazo (4) Mitigable (4) Irrecuperable (8)	Sinergia (Si)	Sin sinergismo (1) Sinergismo moderado (2) Muy sinérgico (4)
Acumulación (Ac)	Simple (1) Acumulativo (4)	Periodicidad (Pr)	Irregular (1) Periodico (2) Continuo (4)
Efecto (Ef)	Indirecto (1) Directo (4)		

Fuente: elaboración propia adaptado de Toro et al., 2016).

De acuerdo con el valor encontrado de importancia (Tabla 3) se clasifica en:

**Tabla 3.** Rango de importancia en la matriz Conesa.

Importancia del impacto	
Categoría	Rango
Irrelevante	<25
Moderado	25-50
Severo	50-75
Crítico	>75

Elaborado por autores a partir de Toro et al. (2016).

## Resultados

### Diagnóstico inicial del manejo final de envases de agroquímicos

De acuerdo con la encuesta piloto realizada a los 33 agricultores de la vereda Lavadero, en el mes de agosto del 2019, se encontró que el rango de edad de los encuestados estaba entre los 24 y 72 años, donde

el 82 % son hombres y el 18 % mujeres. El 64 % de ellos cuentan con vivienda propia y la mayoría de los encuestados cuentan con educación básica primaria (82 %) y solo el 15 % de la población cursó hasta bachillerato.

Se determinó que el cultivo de tomate es el más representativo con un 55 % en área sembrada que corresponde a 95125 m<sup>2</sup>, también se obtuvo que en la zona se utilizan fertilizantes químicos, principalmente foliares nitrogenados, de balance nutricional y hormonal así como facilitadores de entrada de elementos poco móviles como son calcio y boro, en cuanto a los plaguicidas utilizados en mayor frecuencia son insecticidas y fungicidas, adquiridos directamente en las dos distribuidoras de agroquímicos del municipio de Fômeque.

En la encuesta piloto se preguntó por la cantidad y frecuencia con la que se aplican productos químicos a los cultivos. Posteriormente, se unificaron las unidades de medidas, con el fin de encontrar el número de envases generados al año. De modo que, se realizó un análisis proporcional, donde inicialmente



se investigó la cantidad de agroquímico que contiene un envase de acuerdo con el producto utilizado en la vereda, luego, se realizó dicha relación entre la cantidad aplicada de producto químico con la frecuencia de aplicación, obteniendo como resultado la cantidad de envases generados al mes, después fue multiplicado por cinco correspondiente a los meses que dura una cosecha, es decir, desde la siembra hasta la cosecha.

Finalmente, teniendo en cuenta que se realizan dos cosechas al año, se multiplicó el anterior resultado por dos, con el fin, de conocer los envases vacíos de agroquímicos al año; la información anterior fue suministrada por los agricultores al momento de realizar la encuesta piloto, esto puede resumirse con la ecuación del Anexo 2.

Con lo anterior, se obtuvo un total de 1894 envases empleados en la fertilización de los cultivos de la vereda Lavadero durante un año, los códigos

correspondientes para la identificación de cada fertilizante se encuentran en la Tabla 4.

En la Tabla 4, los resultados obtenidos permiten evidenciar que la cantidad de envases según el tipo de fertilizante con respecto a la disposición final de esos residuos, son 853 envases quemados a cielo abierto, 746 envases son abandonados en el suelo y 295 envases son entregados al camión de Corpoguaivio por algunos agricultores.

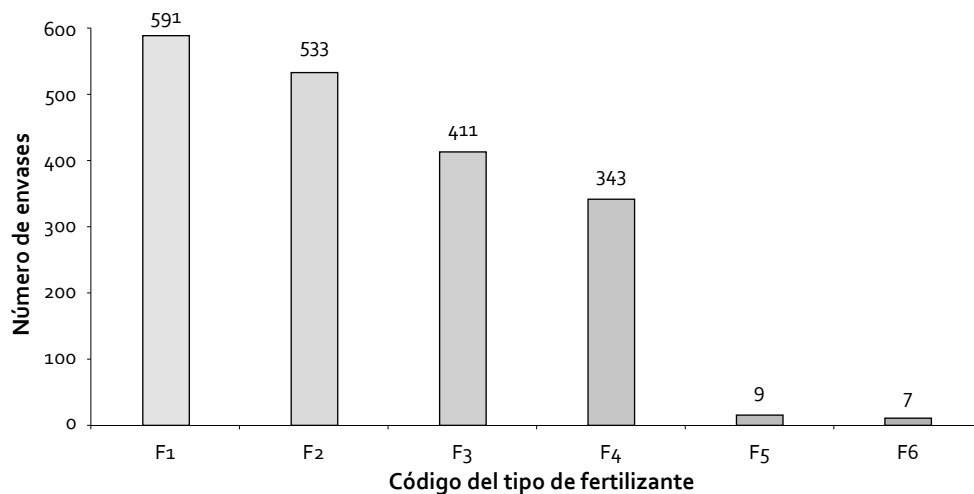
De igual forma en la Figura 3, se observa la cantidad de fertilizantes generados al año distribuidos de la siguiente manera: foliar nitrogenado (591), foliar de balance hormonal (533), facilitador de calcio y boro (411), fuente energética metabólica (343), nitrógeno al 46% (9) y fuente de elementos mayores y menores (7) para obtener un total de 1894 envases vacíos.

Los resultados obtenidos en la Tabla 4 y Figura 3 muestra que en la zona de estudio se utiliza

**Tabla 4.** Disposición final de envases vacíos de fertilizantes generados al año

Código	Tipo de fertilizantes	Disposición final envases			
		En el suelo	Quemas a cielo abierto	Recoge camión	Total general
F1	Foliar nitrogenado	366	150	75	591
F2	Foliar de balance hormonal	0	383	150	533
F3	Facilitador de calcio y boro	185	226	0	411
F4	Fuente energética metabólica	190	85	68	343
F5	Nitrógeno al 46%	4	4	1	9
F6	Fuente de elementos mayores y menores	1	5	1	7
	Total por disposición	746	853	295	1894

Fuente: elaboración propia



**Figura 3.** Cantidad de envases generados al año según el tipo fertilizante. Fuente: elaboración propia

una amplia diversidad de fertilizantes, desde foliares nitrogenados, balance hormonal, facilitadores de elementos poco móviles como son calcio y boro, de fuente energética activada y de elementos mayores y menores que en conjunto se utilizan para mejorar las condiciones del suelo y para un mayor desarrollo de cultivos.

Por otro lado, se puede observar en la Tabla 5 los resultados obtenidos de la cantidad de envases según el tipo de plaguicida con respecto a la disposición final de esos residuos, encontrando que 1164 envases son abandonados en el suelo, 1561 quemados a cielo abierto y 280 envases son entregados al camión según las encuestas realizadas.

En la Figura 4, se obtuvo un total de 3.005 envases entre fungicidas e insecticidas, empleados en el desarrollo de la práctica agrícola de la vereda Lavadero durante un año, los códigos correspondientes para cada plaguicida se encuentran en la Tabla 5.

Los resultados obtenidos en la Tabla 5 y Figura 4, muestran que en la zona de estudio predominan dos tipos de plaguicidas como insecticidas y fungicidas con el fin de proteger sus cultivos.

Según las encuestas, el 100 % de los envases son fabricados a partir del plástico, y en cuanto a la disposición final que les dan a estos envases de agroquímicos (Figura 5), se encontró que el 52 % de los agricultores queman a cielo abierto estos residuos plásticos, el 33% los dejan en el suelo y el 12 % espera que los recoja el camión de Campo Limpio que pasa cada cinco meses o un año. Finalmente, solo el 3 % de los encuestados respondió que no usa envases de agroquímicos y corresponde un agricultor que emplea productos orgánicos en sus cultivos como el abono negro y la gallinaza.

Se evidencia mediante registro fotográfico tomado en campo el punto M02 (Figura 6), lugar donde se realizan quemas a cielo abierto como una de las formas de disposición final de residuos plásticos de agroquímicos en la zona de estudio, corroborado los resultados de las encuestas realizadas.

Así mismo, a los encuestados se les preguntó qué otro manejo final les daban a los envases vacíos de agroquímicos (Figura 7), donde el 55 % respondió que los almacenan en bolsas o lonas en el suelo, el 24 % espera que los encargados realicen la recolección,

**Tabla 5.** Disposición final de envases vacíos de plaguicidas generados al año.

Tipo plaguicida	Disposición final de envases vacíos			
	En el suelo	Quemas a cielo abierto	Recolección por camión	Total
Fungicida	598	696	164	1458
Insecticida	566	865	116	1547
Total	1164	1561	280	3005

Fuente: elaboración propia



**Figura 4.** Cantidad de envases generados al año según el tipo de plaguicida. Fuente: elaboración propia

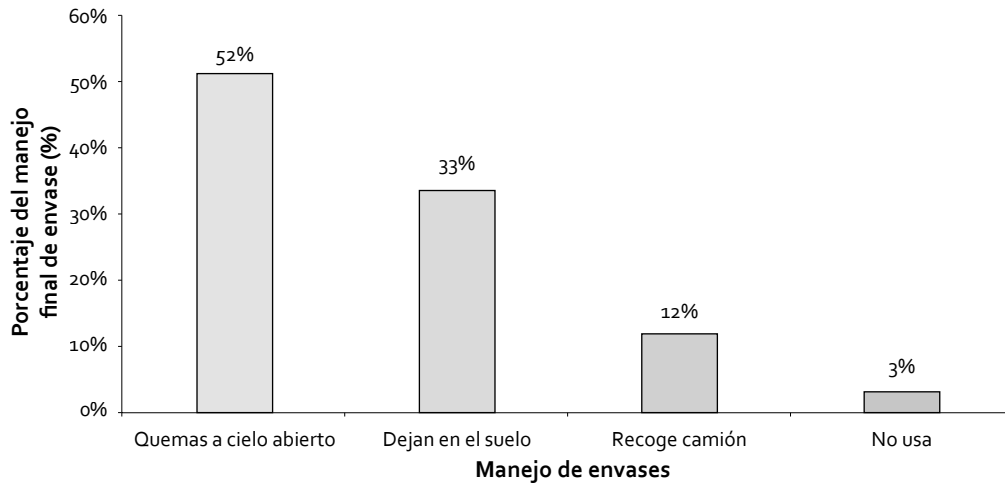


Figura 5. Disposición final de envases de agroquímicos en el suelo de la vereda Lavado. Fuente: elaboración propia



Figura 6. Zona de quema de envases de agroquímicos en el punto de muestreo Moz. Fuente: D. Guzmán-Bejarano (2019)

el 12 % no realiza ningún uso adicional, el 6 % los lava y guarda ya sea para almacenarlos en el suelo o quemarlos y solo una persona los reutiliza para reenvasar gasolina (3 %).

En la Figura 8, se evidencia mediante el registro fotográfico tomado en campo, el abandono de envases de agroquímicos en el suelo o en lonas como una de las prácticas de disposición final en la vereda Lavadero.

Finalmente, se encontró que el 73% de los encuestados no han participado en capacitaciones relacionadas con la disposición final de envases de agroquímicos, mientras que, el 27% respondió que sí han recibido charlas donde les explicaron acerca del lavado de los envases (triple lavado), la forma de separar las tapas y entregar estos residuos plásticos, Estas charlas fueron realizadas por la Alcaldía Municipal de Fômeque, Corpoguavio y Campo limpio

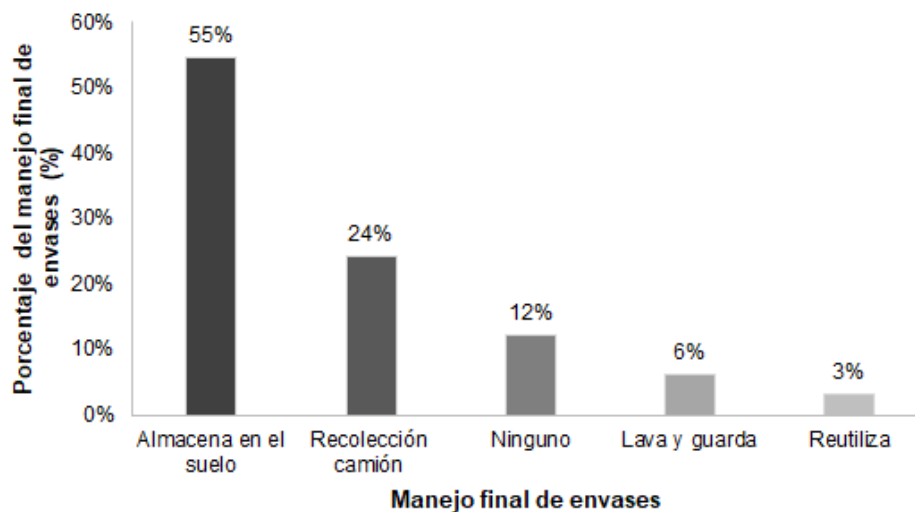


Figura 7. Otro manejo final que los agricultores le dan a los envases de agroquímicos. Fuente: Elaboración propia



Figura 8. Disposición final de envases de agroquímicos en el suelo de la zona de estudio. Fuente: D. Guzmán-Bejarano (2019)

hace cuatro años, según la información suministrada por los agricultores encuestados.

### Análisis de las propiedades fisicoquímicas del suelo

En la Tabla 6 se observa los resultados obtenidos del análisis de laboratorio de AGRILAB para las propiedades físicas como densidad aparente (ecuación), saturación de humedad (método gravimétrico)

y textura (método Bouyoucos), y para las propiedades químicas pH (método conductimétrico), materia orgánica (método Walkley Black modificado).

Los análisis de la Tabla 6. evidencian que en la vereda Lavadero el estado actual del suelo en relación con la disposición final de envases vacíos de fertilizantes y plaguicidas presenta fuertes variaciones entre el blanco (M04), suelo con cobertura de bosque natural, con los cuatro puntos de muestreo, y entre

estos, en primera instancia se discutirá en conjunto los indicadores de calidad del suelo a nivel químico como son pH – materia orgánica, como se aprecia en la **Figura 11**. muestran una relación directamente proporcional en los cinco puntos de muestreo, por ser indicadores de la capacidad productiva del suelo (Sainz et al., 2011), ya que al ser propiedades químicas se vinculan con la calidad y disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas (Calderón et al., 2018), los rangos de pH son variables sin una clara tendencia, sin embargo los puntos M02 y M03 se acercan a las condiciones de neutralidad favoreciendo una mayor desarrollo de biodiversidad y actividad microbiana.

En segunda instancia se analizó en conjunto los indicadores de calidad del suelo, a nivel físico como son densidad aparente y saturación de humedad, se evidencia en la **Figura 10**. una relación inversamente

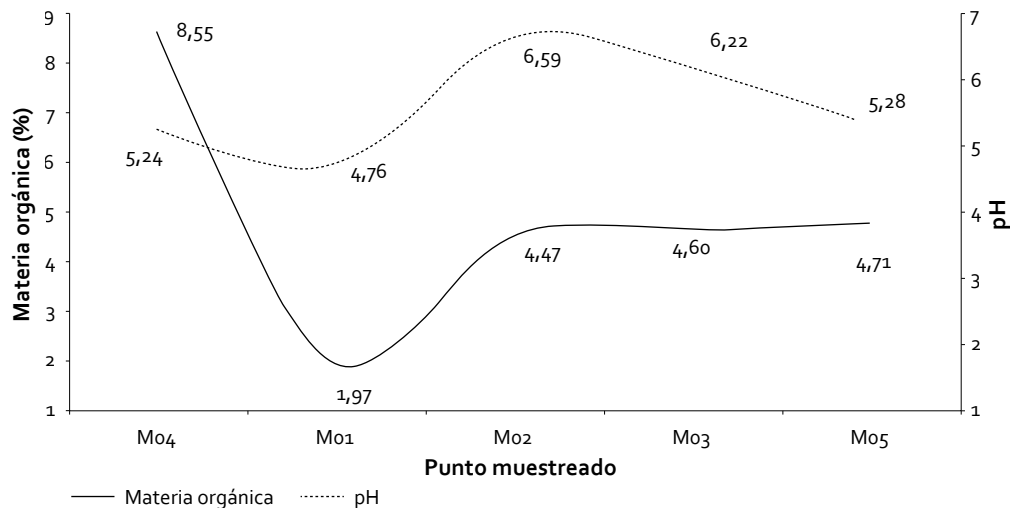
proporcional, y de acuerdo con el documento del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos “USDA” (1999), afirma que suelos arcillosos, como es el presente caso, es decir con más del 45% de fracción arcilla, la densidad aparente menor de 1,10 g cm<sup>3</sup> no presentaría riesgo de compactación en la mayoría de los puntos muestreados excepto el M01, en general los indicadores de calidad del suelo a nivel físico, reflejan la forma en que esta matriz almacena y provee agua a las plantas y permite su desarrollo (Calderón, Bautista, y Rojas, 2018).

En cuanto a la saturación de humedad que es el contenido de agua en el suelo cuando ya todos los espacios o poros están llenos (Shaxson y Barber, 2005), presentan valores diferentes en todos los puntos de muestreo con relación al blanco, la diferencia de un 20% en los puntos M01, M02 y M03 es de resaltar, probablemente a la actividad antrópica

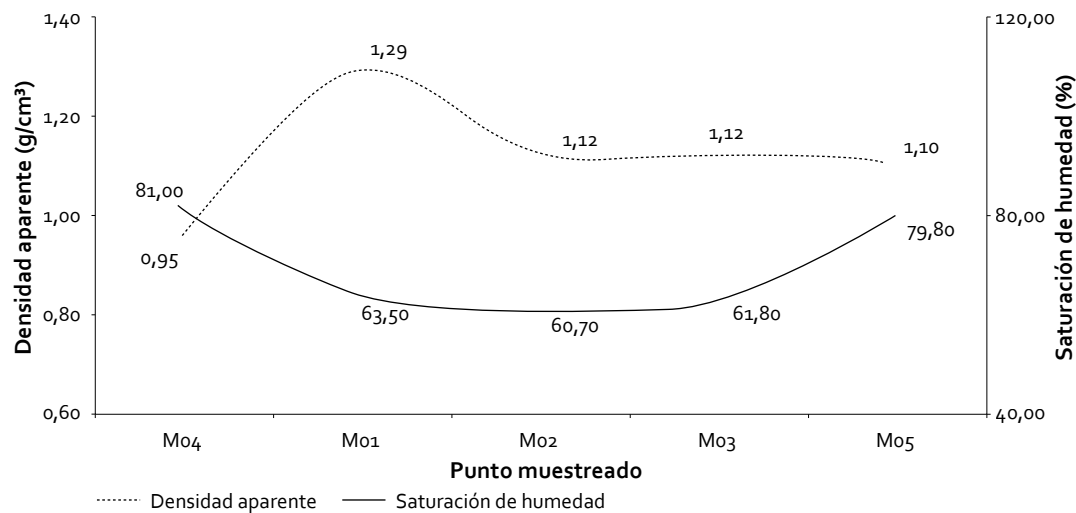
**Tabla 6.** Parámetros fisicoquímicos según el punto de muestreo en los suelos de la vereda Lavadero

Codificación	Parámetros fisicoquímicos					
	Relación disposición final - suelo	pH	Densidad aparente (g cm <sup>3</sup> )	Saturación de humedad (%)	Materia orgánica (%)	Textura Bouyoucos
M04 (Blanco)	Sin disposición de envases ni vestigios de quemas	5,24	0,95	81,00	8,55	Arcillosa
M01	Quema	4,76	1,29	63,50	1,97	
M02	Quema	6,59	1,12	60,70	4,47	
M03	En el suelo	6,22	1,12	61,80	4,60	
M05	Quema	5,28	1,10	79,80	4,71	

Fuente: elaboración propia



**Figura 9.** Relación de los parámetros pH y materia orgánica para los puntos de muestreo de suelo. Fuente: elaboración propia



**Figura 10.** Relación de los parámetros densidad aparente y saturación de humedad según los suelos de la vereda Lavadero. Fuente: elaboración propia

de disposición final de los envases vacíos de agroquímicos, en el punto M05 la diferencia fue del 10% con respecto del blanco (M04), en todos los casos este porcentaje de saturación de humedad se relaciona directamente con el régimen edáfico de humedad que como se comentó anteriormente es údico y con el porcentaje de materia orgánica y a su vez la facilidad para el establecimiento de esta con la textura del suelo predominante en la zona, que es arcillosa.

El balance general del estado actual del suelo permitió establecer que la relación disposición envases vacíos de agroquímicos si están generando impacto negativo en los puntos de muestreo, los cuales se hace necesario continuar el seguimiento de los indicadores de calidad del suelo como materia orgánica y densidad aparente, también se forja indispensable generar medidas de mitigación para el punto M01, por lo expuesto anteriormente.

### Análisis mediante matriz Conesa

Al realizar la matriz de evaluación de impacto ambiental empleando la metodología de Vicente Conesa (Anexo 3), respecto al componente social se incluyó la cantidad generada de envases plásticos y se le asignó un nivel de importancia de 38 y la escasa frecuencia con la que se realizan capacitaciones acerca del manejo de envases de agroquímicos con un nivel de importancia de 32. Clasificando el componente social como un impacto moderado, haciendo referencia a una afectación de intensidad media, la

cual puede ser reversible y recuperable en un mediano lapso ya sea con medidas de control, prevención y mitigación (SDIS, 2013).

Por otro lado, para el aspecto suelo en la temática ecológica; el manejo final de envases de agroquímicos que comprenden la quema y abandono en el suelo, se relacionaron con las propiedades fisicoquímicas analizadas, dando como resultado impactos de importancia severa con calificaciones de 64 y 65, indicando que son afectaciones en el suelo persistentes y de intensidad alta o muy alta. Esto concierne con lo encontrado en campo pues estas prácticas de eliminación de envases de agroquímicos se han venido realizando generación tras generación según lo expresaron los encuestados, las medidas de manejo ante estos impactos son las de control, prevención, mitigación y compensación (SDIS, 2013).

### Discusión

#### Disposición final de envases de agroquímicos

En el municipio de Fômeque, se siembran principalmente hortalizas consideradas cultivos transitorios, por lo que, se realizan dos cosechas al año, actividad que ocasiona mayor demanda de productos de agroquímicos; de acuerdo con el análisis de datos de la encuesta piloto se obtuvo que el cultivo

de tomate es el más representativo de la zona con un 55 % en área sembrada que corresponden a 95125 m<sup>2</sup>, según Corpoguavio (2017), a mayor densidad de área sembrada mayor es la cantidad de residuos de envases generados en la cosecha.

Se determinó que en la zona de estudio predomina el uso de productos químicos, a nivel de fertilizantes los más empleados en los cultivos de la zona son foliares nitrogenados, de balance hormonal y facilitadores de entrada de elementos poco móviles calcio y boro (Figura 3), y a nivel de plaguicidas predominan insecticidas y fungicidas (Figura 4), adquiridos en dos de las distribuidoras de agroquímicos del municipio de Fómeque.

Al analizar la información recolectada, se calculó aproximadamente la cantidad de residuos de envases plásticos generados en la zona de estudio donde el resultado fue de 4899 envases vacíos de agroquímicos, distribuidos en 1894 envases correspondientes a fertilizantes (Tabla 4) y 3005 envases de plaguicidas (Tabla 5), de los cuales el 52 % son quemados a cielo abierto, el 33% son abandonados en el suelo y finalmente, cuatro personas (12 %) esperan que los recoja la entidad encargada que para el municipio de Fómeque corresponde a Campo Limpio (Figura 7). Adicionalmente, se encontró otro uso final que los agricultores le dan a los envases de agroquímicos, donde el 6 % los lava y guarda ya sea para almacenarlos o quemarlos en el suelo y el 3 % los reutiliza para reenvasar gasolina (Figura 7).

De acuerdo con Corpoguavio (2017), Campo Limpio es la entidad asignada para la recolección, transporte y tratamiento final de los residuos posconsumo de agroquímicos, además, en el estudio que realizó en el año 2017, menciona que el municipio cuenta con un punto de acopio de residuos de posconsumo de agroquímicos, el cual facilitaba el acceso, transporte y recolección de estos residuos por parte del gestor en ese caso Campo limpio, sin embargo, un agricultor manifestó que ese punto se encuentra en el polideportivo cerca de la plaza de mercado del municipio, donde se almacenan residuos sólidos (cartones, botellas, papel, entre otros), esa información fue suministrada al momento de realizar la encuesta piloto.

Otro aspecto relevante es que el 73 % de los encuestado no han recibido ninguna capacitación

acerca de la disposición final de envases de agroquímicos, mientras que, el 27 % mencionaron que, si ha recibido capacitaciones por parte de la Alcaldía, Corpoguavio y Campo limpio acerca de lavado, separación y entrega de envases vacíos de productos químicos, las cuales fueron realizadas hace más de 4 años. Con lo anterior, se puede considerar la idea expuesta por Espín (2018), que propone implementar un seguimiento a los agricultores y distribuidores, así como capacitaciones encaminadas a la gestión integral de envases vacíos de plaguicidas y un monitoreo y control de los avances en la ejecución del plan de contingencia para la gestión de envases vacíos de plaguicidas.

Según los resultados de Corpoguavio (2017) se encontró que los agricultores del municipio realizan una adecuada separación de envases de agroquímicos y son entregados a Campo limpio, situación que difiere con los resultados obtenidos en el presente estudio, debido a que en la encuesta aplicada en la vereda Lavadero, se evidenció que cuenta con prácticas como la quema y el abandono de los envases de agroquímicos en el suelo como una alternativa de disposición, evidenciando una problemática que demanda una mayor intervención en cuanto a los programas de manejo final de residuos peligrosos, incluyendo capacitaciones por parte de las entidades autorizadas acerca del uso y manejo final de esos envases de agroquímicos.

Lo anterior se corrobora en el Plan de Acción Institucional realizado por Corpoguavio (2020), donde expresa que los residuos peligrosos agropecuarios como envases y empaques de agroquímicos procedente de su jurisdicción, se entierran o queman como alternativas de disposición final. A pesar de los esfuerzos realizados por la autoridad ambiental y los entes territoriales, no se ha logrado cumplir con la continuidad de programas relacionados a la gestión integral de residuos peligrosos que en su mayoría están sujetos a planes de posconsumo. Esto se debe a que la recolección se realiza a municipios de mayor generación de residuos peligrosos, mientras que, los municipios de menor generación como Fómeque que pertenece a la jurisdicción de Corpoguavio, no se les direccionan esfuerzos que eviten esta situación.

Los resultados expuestos son similares al estudio realizado por Gavilanes (2014), debido a que en la encuesta que aplicó, encontró que el 39 % de los agricultores dejan en el campo los envases, el 26 % los quema a cielo abierto y el 18 % los entierra, comprobando que los agricultores no toman medidas para el manejo final de los envases lo que se convierte en un problema para el ambiente y salud de las personas. Por otro lado, se encontró que el 78 % de los agricultores no realizan triple lavado ni perforan los envases de plaguicidas, además, no los devuelven al proveedor debido a que no cuentan con una política de recolección por parte de los fabricantes o normas que obliguen a la disposición final adecuada de los envases de plaguicidas.

Se puede indicar que en esta zona de estudio presenta un déficit en los programas de recolección de residuos peligrosos, así como falta de gestión integral para este tipo de residuos y gestión sostenible del suelo. Sumándose, la desinformación por parte de los agricultores y el desinterés de los distribuidores para la recolección de los envases vacíos de este producto sintético, lo que genera que el ambiente se vea afectado por la acumulación de envases de agroquímicos ocasionando contaminación en los recursos del suelo al ser incorporados en este, en el aire por la quema de estos residuos, y en los cuerpos de agua cuando se desechan sobre estos.

En síntesis, los envases vacíos de agroquímicos son un problema para los suelos de la vereda Lavadero, donde se encontró que ninguno de los 33 encuestados realizan una disposición final de estos residuos conforme como lo establece la norma colombiana en el Decreto 1443 del 2004, que hace referencia a las medidas ambientales para el manejo de los plaguicidas y la prevención y manejo seguro de los residuos peligrosos provenientes de estos mismos (Presidencia de Colombia, 2004).

## Efectos de la práctica de quema de envases de agroquímicos en los suelos

Para esta actividad antrópica realizada en la zona de estudio fueron evidentes las diferencias de los resultados de las propiedades evaluadas del suelo consignados en la Tabla 6, entre el blanco (M04) con respecto a los otros puntos evaluados, para el presente estudio es de resaltar la diferencia entre el

porcentaje de materia orgánica del blanco (8,55 %), con los puntos M01 (1,97 %), seguido de M02 (4,47 %) y M05 (4,71 %).

La relación pH – Materia orgánica (Figura 9), se observa que el punto M01 es el de mayor condición adversa, ya que no solo se obtuvo un valor bajo del porcentaje de materia orgánica sino que también está caracterizado por una fuerte acidez del suelo (4,76) más una condición natural relevante como es la alta pendiente de 32,4%, situación que genera suelos susceptibles a la erodabilidad, y que se va a acrecentarse producto de las quemas, para el caso M02 y M05 al tener unas pendientes bajas 8,20 y 19,3% respectivamente permite que los suelos de la zona puedan tener la posibilidad de acumular material orgánico, el M02 es el punto con un valor de pH cercano a la neutralidad lo que permite tener unas condiciones óptimas de diversidad y actividad microbiana, que para futuros estudios sería conveniente tener en cuenta, así como realizar el seguimiento ya que la actividad de quema a futuro va a aminorar considerablemente a las poblaciones microbianas.

Cabe anotar que la acidez también está relacionada con la adición de ceniza luego de la quema, la oxidación rápida de la materia orgánica y la reducción de humedad del suelo, como en el estudio realizado por Sandoval y Suarez (2017), donde los pH de los suelos evaluados luego de la quema eran de carácter ácido con valores entre 4,2 y 5,1; ese aumento del pH es generalmente temporal y depende del pH antes del fuego, cantidad de ceniza producida, la composición química producida y la humedad. Por otro lado, el punto M02 obtuvo un pH neutro (6,59), esto pudo suceder por la cantidad de ceniza que se genera en la quema lo que hizo que se incrementaran las bases y el pH del suelo.

Según lo expuesto por Verma y Jayakumar (2012) en su estudio, afirman que el efecto del fuego sobre la materia orgánica depende en gran medida del tipo e intensidad del fuego, humedad y tipo suelo y naturaleza de los materiales quemados. Por tanto, el efecto sobre los procesos del suelo y la influencia del fuego es muy variable y no se pueden sugerir tendencias generalizadas para la mayoría de los cambios en la composición del humus inducido por la quema.



Continuando con el punto M01 el valor de la propiedad densidad aparente fue de  $1,29 \text{ g/cm}^3$ , determinando que la zona de estudio puede ser o tiene a ser un suelo compactado, también relacionado con la textura que es arcillosa, esta amenaza natural del suelo se incrementa con las actividades antrópicas lo que permite determinar que también hay una baja capacidad de aireación, drenaje y porosidad ocasionando impedimento para el enraizamiento de plantas, aminorando la cobertura vegetal, aumentando la susceptibilidad a la erodabilidad y futura degradación del suelo.

Los valores de densidad aparente obtenidos en los puntos M01 ( $1,29 \text{ g cm}^{-3}$ ), M02 ( $1,12 \text{ g cm}^{-3}$ ) y M05 ( $1,10 \text{ g cm}^{-3}$ ) y como se aprecia en la Figura 10 pudieron darse que al momento de realizar la quema la fase sólida del suelo se endurece generando que la saturación de humedad disminuya en todos los puntos muestreados, con valores de 63,50 % para M01, M02 con 60,7 y 79,8 % para M05, de igual forma se observa que esta dos propiedades físicas son inversamente proporcionales, como sucedió en el estudio de Sandoval y Suarez (2017), donde la densidad aparente del suelo inicialmente era  $0,87 \text{ g cm}^{-3}$ , luego de ser expuesto al fuego esta aumentó a  $0,91 \text{ g cm}^{-3}$ , mientras que la saturación de humedad inicial fue 47,74 % y disminuyó a 28,51 el porcentaje de humedad del suelo quemado; esto se debe que la densidad aparente de los suelos aumenta significativamente como resultado del fuego debido al colapso de los agregados y la obstrucción de los huecos por la ceniza y la arcilla; como consecuencia, la porosidad y permeabilidad del suelo disminuye (Verma y Jayakumar, 2012). De acuerdo con Cáceres (2018), se presenta una disminución en la capacidad de retención de humedad del suelo, aunque con la remoción de la cobertura vegetal y la disponibilidad real de humedad en el suelo puede aumentar debido a una menor demanda.

En conjunto el estado actual del suelo de la vereda Lavadero, se encontró que en las zonas donde se ha presentado quemadas a cielo abierto (M01, M02 y M05), el contenido de limo disminuyó considerablemente, mientras que el contenido de arena aumento en los tres puntos de muestreo.

Por otro lado, la arcilla es un mineral poco modificable al contacto con el fuego como se evidenció en

los puntos muestreados que su aumento fue mínimo, teniendo como base que el M03 presentó un 46 % de contenido de arcilla, mientras, que en los puntos con quema de residuos plásticos estuvo entre 52 a 54 %. Los resultados pueden ser comparados con el estudio realizado por Cáceres (2018), donde evaluó el efecto de la quema en las propiedades físicas y químicas del suelo, encontrando que la quema no alteró el contenido de arena en los suelos evaluados, mientras que, el contenido de limo en las dos profundidades (suelos de 0-5 cm y de 5-10 cm) analizadas disminuyó en comparación con el suelo sin quema, y el contenido de arcilla no varió en los suelos estudiados.

### Efecto del abandono de envases de agroquímicos en los suelos

La relación de la actividad de abandono de los envases plásticos con el suelo fue en el punto M03 el porcentaje de materia orgánica (4,60 %), es aproximadamente la mitad del blanco lo que se puede asociarse con lo mencionado por Bläsind y Amelung, (2018), su estudio permitió evidenciar que una vez el plástico se acumula en el suelo, se convierte en parte de una mezcla compleja de materia orgánica y sustituyentes minerales, debido a las interacciones minerales orgánicas, siendo una posible causa de la disminución en mención.

De acuerdo con los resultados encontrados, la densidad aparente presentó un aumento ( $1,12 \text{ g cm}^{-3}$ ) comparado con el M04 ( $0,95 \text{ g cm}^{-3}$ ), situación que se presenta en el estudio De Souza et al. (2018), donde incorporaron fragmentos de polietileno de alta densidad en el suelo, encontrando que estas partículas afectan negativamente la densidad aparente del suelo, ya que el plástico suele tener una densidad menor que los minerales del suelo.

Con respecto a la saturación de humedad, esta disminuyó al 61,8%; reduciéndose el espacio poroso y ocasionando que el desplazamiento del flujo de agua se dificulte, evento que no sucedió en el M03 donde la saturación de humedad fue del 81 %. En el estudio que utilizó películas de polietileno, Wang et al. (2019) encontraron que los microplásticos podrían acelerar la evaporación en el agua del suelo al crear canales para el movimiento de la misma

(Wang et al., 2020). Encontrando que al aumentar la densidad aparente se afecta la retención de agua.

Finalmente, el porcentaje de arcilla fue de 58 % mientras que el del M04 fue de 46 %, según el artículo de Kumar et al. (2020), encontraron que la textura y composición del suelo juegan un papel importante en la degradación de polímeros sintéticos en el suelo. En ese estudio se informó que los suelos arcillosos mostraron una mayor degradación de polímeros en comparación con los suelos arenosos, posiblemente atribuida a una mayor presencia de materia orgánica en el suelo.

## Matriz Conesa

Es importante tener en cuenta las variables al momento de analizar los impactos encontrados con la metodología de Conesa, donde el objeto central fue definir los efectos que tiene los hábitos generados por los agricultores de la vereda Lavadero, relacionado con la disposición final de envases de agroquímicos de mayor demanda, dando como resultados una intensidad de impacto moderada debido a las escasas capacitaciones que se desarrollan en la zona de estudio acerca de la disposición final de envases de agroquímicos y la cantidad que se genera al año de estos, además, se presentó un nivel de impacto de intensidad severa, el cual evaluaba la afectación en las propiedades fisicoquímicas del suelo que ha sido intervenido por la quemadas y abandono de envases de plástico, donde se observó que estos residuos plástico si afectan al suelo y se presentan diferentes modificaciones las cuales ya fueron mencionadas durante el desarrollo del trabajo.

## Conclusiones

A través de la matriz de Vicente Conesa, se conoció el grado de impacto que se genera a nivel social y ecológico en la vereda Lavadero, puesto que se analizaron aspectos específicos de la encuesta piloto y el muestreo de suelo en zonas afectadas por la disposición final de envases, donde se encontraron impactos moderados a severos, indicando que la zona de estudio posiblemente está siendo afectada por la quema o abandono de residuos plástico de

agroquímicos en el suelo, lo que conlleva a que se pierda la calidad del mismo.

De acuerdo con los resultados respecto a la disposición final de envases de agroquímicos, fue posible encontrar que al año se generan 4899 residuos plástico que corresponde a envases de fertilizantes y plaguicidas, los cuales el 52% son eliminados mediante la quema a cielo abierto y el 33% son abandonados en el suelo, ambas situaciones generan un impacto ecológico negativo en el suelo y a futuro el impacto social repercutirá en la oferta ambiental del recurso.

Respecto al muestreo de suelo se observó que las propiedades fisicoquímicas de este, cambiaron considerablemente respecto al punto del bosque natural (blanco), encontrando que las propiedades físicas como densidad aparente y saturación de humedad son inversamente proporcionales, esto se debe a que al reducir los agregados del suelo impide que exista un flujo de agua lo que conlleva a que presente una alta densidad aparente y una baja saturación de humedad, caso que ocurrió en puntos donde se presentan quema o abandono de envases plástico de agroquímicos.

En cuanto a las propiedades químicas, el pH fue catalogado para los suelos de la vereda Lavadero como ácido, donde la ceniza influyó en el punto M02 volviendo el pH neutro, esto se debe a la reacción alcalina que se generadas en la quema, mientras, que para la materia orgánica se encontró que disminuyó en todos los puntos de muestreo, lo que ocasiona que se destruyan los agregados del suelo.

Los indicadores del suelo que posiblemente se vieron impactados de forma negativa producto de abandono y quema de envases vacíos de agroquímicos, fueron la materia orgánica, pH, densidad aparente y saturación de humedad, los anteriores comparados con el punto del blanco (M04); que para el caso del punto M01 a futuro una mayor susceptibilidad a la degradación de los suelos, que se intensificará con el actual cambio climático, compactación y disminución de la fertilidad, comprometiendo la seguridad alimentaria y biodiversidad de la vereda Lavadero en el futuro cercano, producto del manejo final que los agricultores le dan a los envases generados en la producción agrícola.

Finalmente, este estudio fue un primer diagnóstico del resultado de las prácticas que realizan los agricultores en la disposición final de los envases de agroquímicos y su consecuencia en los suelos de la vereda Lavadero. Se espera que con los resultados obtenidos contribuyan a futuras investigaciones incluyendo la evaluación de otros indicadores de calidad del suelo así como con alternativas que permitan mitigar o solucionar la problemática expuesta, y que se cumpla de acuerdo a la normativa colombiana con una adecuada gestión para los envases vacíos de productos químicos.

**Agradecimientos.** Las autoras agradecen la colaboración a los agricultores, autoridades y demás pobladores de la vereda Lavadero, Fómeque y a la Universidad El Bosque – Bogotá, Colombia.

## Referencias

- Alcaldía Municipal de Fómeque, 2016. Plan de desarrollo municipal 2016-2019. Fómeque, Colombia.
- Arévalo, A., Bacca, T., Soto, A., 2014. Diagnóstico del uso y manejo de plaguicidas en fincas productoras de cebolla *Junca Allium fistulosum* en el municipio de Pasto. Luna Azul (38), 132-145. DOI: 10.17151/luaz.2014.38.8
- Bayona, N., Muñoz, G., 2009. Estudio de la actividad agrícola como base para la comprensión de la dinámica socioeconómica de una comunidad rural en Fómeque, Cundinamarca. Agron. Colomb. 27(2), 273-281.
- Bläsind, M., Amelung, W., 2018. Plastics in soil: Analytical methods and possible sources. Sci. Total Environ. 615, 422-435. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.086
- Brodhagen, M., Goldberger, J., Hayes, D., Inglis, D., Marsh, T., Miles, C., 2017. Policy considerations for limiting unintended residual plastic in agricultural soils. Environ. Sci. Policy 69, 81-84. DOI: 10.1016/j.envsci.2016.12.014
- Cáceres, J., 2018. Efecto de la quema de vegetación en las propiedades físicas y químicas del suelo Huancayo, 2016. Universidad Continental, Huancayo, Perú.
- Calderón, C., Bautista, G., Rojas, S., 2018. Propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, indicadores del estado de diferentes ecosistemas en una terraza alta del departamento del Meta. RevistaBI - Universidad de los Llanos - FCBI 22(2), 141-157. DOI: 10.22579/20112629.524
- Chae, Y., An, Y.-J., 2018. Current research trends on plastic pollution and ecological impacts on the soil ecosystem: A review. Environ. Pollut. 240, 387-395. DOI: 10.1016/j.envpol.2018.05.008
- Corporación Autónoma Regional del Guavio Colombia (Corpoguavio), 2017. Plan de Gestión Integral de Residuos Peligrosos. Gachalá, Colombia.
- Corporación Autónoma Regional del Guavio Colombia (Corpoguavio), 2020. Plan de Acción Institucional. Gachalá, Colombia.
- Cubides, A., Montaña, C., 2017. Evaluación del impacto ambiental generado por los residuos peligrosos en el sector agrícola en la vereda de Chámeza, Municipio de Nobsa, Boyacá. Tesis de grado. Universidad Abierta y a Distancia UNAD, Sogamoso, Colombia.
- De Luis, M., González, J., Raventós, J., 2003. Efectos erosivos de una lluvia torrencial en suelos afectados por quemas experimentales de diferente severidad. Rev. C&G 17(3-4), 57-67.
- De Souza, A., Wai, C., Till, J., Kloas, W., Lehmann, A., Becker, R., Rillig, M., 2018. Impacts of microplastics on the soil biophysical environment. Environ. Sci. Technol. 52, 9656-9665. DOI: 10.1021/acs.est.8b02212
- Del Puerto, A., Suárez, S., Palacio, D., 2014. Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. Rev. Cubana Hig. Epidemiol. 52(3), 372- 387.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística Colombia (DANE), 2016. Información de veredas con variables asociadas de número de UPA-UPNPA, Viviendas, hogares y personas. En: Tercer Censo Nacional Agropecuario. Bogotá, DC.
- Espín, A., 2018. Análisis del control de los envases vacíos de plaguicidas de uso agrícola y su incidencia en la contaminación ambiental en el sector El Cascajo, Cantón Santa Cruz, 2017. Trabajo de grado. Universidad Central del Ecuador, Puerto Ayora, Ecuador.
- Esri Inc, 2020a. ArcMap, v 10.5.1. *Software*. Redlands, CA.
- FAO, 2009. Guía para la descripción de suelos. 4a ed. Traducción R. Vargas. Roma.
- Garzón, E., Jiménez, L., Botón, J., 2000. Zonificación de tierras. En: Estudio general de suelos y zonificación de tierras de Cundinamarca. Subdirección de Agrología-Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Bogotá, DC. pp. 578-614.
- Gavilanes, G., 2014. La acumulación de envases de plaguicidas y su incidencia en la contaminación ambiental en el Cantón Quero. Tesis de maestría. Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), 2006. Métodos analíticos del laboratorio de suelos. Bogotá, DC.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), 2017. Mapas de suelos del territorio colombiano a escala 1:100.000 – Departamento: Cundinamarca. Subdirección de Agrología, Bogotá, DC.

- Ize, I., 2014. La quema de residuos agrícolas: fuente de dioxinas. Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, Canada.
- Kumar, M., Xiong, X., He, M., Tsang, D., Gupta, J., Khan, E., Harrad, S., Hou, D., Ok, Y., Bolan, N., 2020. Microplastics as pollutants in agricultural soils. *Environ. Pollut.* 265, 114980. DOI: 10.1016/j.envpol.2020.114980
- Ling, E., Huerta, E., Eldridge, S., Johnston, P., Hu, H.-W., Geissen, V., Chen, D., 2018. An overview of microplastic and nanoplastic pollution in agroecosystems. *Sci. Total Environ.* 627, 1377-1388. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.01.341
- Martínez, R., 2010. Propuesta metodológica para la evaluación de impacto ambiental en Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, DC.
- Ongley, E., 1997. Los plaguicidas, en cuanto contaminantes del agua. En: Ongley, E. (Ed.), *Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos*. FAO, Burlington, Canadá. pp. 59-77.
- Pacheco, R., Itatí, E., 2017. Manual de uso seguro y responsable de agroquímicos en cultivos frutihortícolas. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Bella Vista, Argentina.
- Pinto, L., 2017. Alternativas para el tratamiento de aguas contaminadas por plaguicidas utilizadas en los cultivos de arroz en Colombia. Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Pamplona, Colombia.
- Presidencia de Colombia, 2004. Decreto 1443, por el cual se reglamenta parcialmente el Decreto-ley 2811 de 1974, la Ley 253 de 1996, y la Ley 430 de 1998 en relación con la prevención y control de la contaminación ambiental por el manejo de plaguicidas y desechos o residuos peligrosos provenientes de los mismos, y se toman otras determinaciones. Bogotá, DC.
- Sainz, H., Echeverría, H., Angelini, H., 2011. Niveles de materia orgánica y pH en suelos agrícolas de la región Pampeana y Extrapampeana Argentina. *Informaciones Agronómicas* (2), 6-12.
- Sandoval, J., Suárez, C., 2017. Evaluación del impacto de la quema física controlada como práctica agrícola sobre algunas de las características físicas, químicas y biológicas de dos series de suelos cafeteros ubicados en los municipios de El Líbano y Casabianca, Tolima. Tesis de maestría. Universidad de Manizales, Manizales, Colombia.
- Secretaría Distrital de Integración Social (SDIS), 2013. Guía metodológica para la evaluación de aspectos e impactos ambientales. Alcaldía Mayor de Bogotá, Bogotá, DC.
- Shaxson, F., Barber, R., 2005. Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal El significado de la porosidad del suelo. FAO, Roma.
- Soil Survey Staff, 2014. Keys to soil taxonomy. 12a ed. USDA, Washington, DC.
- Soto, Y., 2009. Determinación de parámetros químicos y poblaciones bacterianas del suelo relacionadas con el ciclo del carbono y nitrógeno, antes y después de la quema de residuos de cosecha de trigo. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Servicio de Conservación de Recursos Naturales (USDA), 1999. Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. Washington, DC.
- Toro, J., Martínez, L., Martelo, C., 2016. Metodología para la evaluación de impactos ambientales de la Universidad Nacional de Colombia-Sede Bogotá. Instituto de Estudios Ambientales-Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, DC.
- Vargas, O., Prieto, G., González, L., Matamoros, A., 2004. Geoquímica de metales pesados en los suelos de la cuenca del río Bogotá. Instituto Colombiano de Geología y Minería, Bogotá, DC.
- Verma, S., Jayakumar, S., 2012. Impact of forest fire on physical, chemical and biological properties of soil: A review. *Proc. Int. Acad. Ecol. Environ. Sci.* 2(3), 168-176.
- Wang, W., Ge, J., Yu, X., Li, H., 2020. Environmental fate and impacts of microplastics in soil ecosystems: Progress and perspective. *Sci. Total Environ.* 708, 134841. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.134841
- Wang, J., Liu, X., Li, Y., Powell, T., Wang, X., Wang, G., Zhang, P., 2019. Microplastics as contaminants in the soil environment: A mini-review. *Sci. Total Environ.* 691, 848-857. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.07.209
- Zenner, I., Peña, F., 2013. Plásticos en la agricultura: Beneficio y costo ambiental: Una revisión. *Rev. UDCA Actual. Divulg. Cient.* 16(1), 139-150. Doi: 10.31910/rudca.v16.n1.2013.868

## Anexo 1



### Encuesta piloto: Diagnóstico de la disposición final de envases de agroquímicos en la Vereda Lavadero.

Realizada por: Daniela Guzmán Bejarano.

Revisada por: Liliana Figueroa del Castillo.

Lo invito a contestar esta corta encuesta, que me servirá para realizar mi proyecto de grado, y luego poder apoyarlo con la información de los resultados de mi trabajo.

Nombre del entrevistado: \_\_\_\_\_

Edad: \_\_\_\_ Sexo: F \_\_\_\_ M \_\_\_\_

Nombre de la finca: \_\_\_\_\_

#### Nivel de formación académica:

Primaria \_\_\_\_\_

Bachillerato \_\_\_\_\_

Técnico/ tecnólogo \_\_\_\_\_

Universitario \_\_\_\_\_

#### Tipo de vivienda:

a. Propia \_\_\_\_\_

b. Arrendada \_\_\_\_\_

c. Familiar \_\_\_\_\_

d. Alquiler cuarto \_\_\_\_\_

#### Por favor responda las siguientes preguntas

1. ¿Qué tipo de cultivo hay en su finca? Especifique el área que tiene destinada para la siembra según el caso.

a. Tomate \_\_\_\_\_

b. Habichuela \_\_\_\_\_

c. Pimentón \_\_\_\_\_

d. Otro: \_\_\_\_\_

2. ¿Qué tipo de producto emplea en su cultivo?

Por favor especifique cuales para cada caso.

a. Fertilizantes: \_\_\_\_\_

b. Plaguicidas: \_\_\_\_\_

c. Compostaje: \_\_\_\_\_

d. Otros: \_\_\_\_\_

3. De los siguientes productos, qué cantidades son aplicados en sus cultivos (litros o gramos) y con qué frecuencia (días, semanas o meses).

a. Fertilizantes: \_\_\_\_\_

b. Plaguicidas: \_\_\_\_\_

c. Compostaje: \_\_\_\_\_

d. Otros: \_\_\_\_\_

4. ¿De qué material está elaborado los envases y empaques de los agroquímicos que utiliza?

- a. Plástico \_\_\_\_\_
- b. Vidrio \_\_\_\_\_
- c. Metal \_\_\_\_\_
- d. Otro: \_\_\_\_\_

5. ¿Qué marca de agroquímicos emplea usted en sus cultivos?

Especifique el lugar dónde los compra

- a. Syngenta S.A \_\_\_\_\_
- b. Bayer S.A \_\_\_\_\_
- c. Diabonos S.A \_\_\_\_\_
- d. Otro: \_\_\_\_\_

6. ¿Qué hace usted cuando termina de usar los envases y empaques de agroquímicos?

- a. Van a las fuentes de aguas \_\_\_\_\_
- b. Se realizan quemas a cielo abierto \_\_\_\_\_
- c. Los entierran en el suelo \_\_\_\_\_
- d. Otra, ¿Cuál?: \_\_\_\_\_

7. ¿Cuánto dinero invierte usted al mes en la compra de productos para sus cultivos?

Especifique de dónde provienen los recursos para la compra.

- a. Fertilizantes: \_\_\_\_\_
- b. Plaguicidas: \_\_\_\_\_
- c. Compostaje: \_\_\_\_\_
- d. Otros: \_\_\_\_\_

8. ¿Qué otro uso les da a los envases de agroquímicos vacíos?

- a. Los reutiliza \_\_\_\_\_
- b. Los lava y guarda \_\_\_\_\_
- c. Guarda alimentos \_\_\_\_\_
- d. Otro, ¿Cuál? \_\_\_\_\_

9. ¿Ha recibido charlas sobre qué hacer cuando el envase de agroquímico queda vacío?

- a. Si \_\_\_\_\_
- b. No \_\_\_\_\_

Si la respuesta es Sí, ¿Quién le ha dado esas charlas? y ¿Qué les han hablado?

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

¡¡Muchas gracias!!

## Anexo 2

$$\text{Cantidad de envases al año} = \left[ \left( \frac{\text{Envases} \times \text{Días mes}}{\text{Frecuencia de aplicación}} \right) - 5 \right] \times 2$$

**Ecuación 1.** Fórmula generada para obtener la cantidad de envases de agroquímicos al año

donde:

*Envases:* Es el número de envases empleados según el contenido de agroquímico.

*Días mes:* Corresponde a 30 días.

*Frecuencia de aplicación:* Días en los que aplican el agroquímico en el suelo (Recolectado por la encuesta piloto).

5: Corresponde a los meses que dura una cosecha de hortalizas.

2: Número de cosechas que se realizan al año.

## Anexo 3.

**Evaluación mediante la metodología Conesa de disposición final de envases de agroquímico en la vereda Lavadero**

Matriz Vicente Conesa																
Temática	Aspecto	Impacto	Criterios											Importancia		
			Nat	In	Ex	Mo	Pe	Rv	Si	Ac	Ef	Pr	Rc			
Social	Agricultores	Cantidad de envases plásticos generados	-	4	4	3	2	2	2	4	1	2	2	38		
		Escasa capacitaciones para el manejo de envases de agroquímicos	-	4	4	2	2	1	2	1	1	1	2	32		
Ecológico	Suelo	Manejo de envases plásticos de agroquímicos	Quema	pH	-	8	1	4	4	4	4	4	4	2	8	64
				Saturación de humedad	-	8	1	4	4	4	4	4	4	2	8	64
				Carbono Orgánico	-	8	1	4	4	4	4	4	4	2	8	64
				Materia Orgánica	-	8	1	4	4	4	4	4	4	2	8	64
				Densidad aparente	-	8	1	4	4	4	4	4	4	2	8	64
				Textura	-	8	1	4	4	4	4	4	4	2	8	64
		Depositados	pH	-	8	4	1	4	4	4	4	4	4	4	65	
			Saturación de humedad	-	8	4	1	4	4	4	4	4	4	4	65	
			Carbono Orgánico	-	8	4	1	4	4	4	4	4	4	4	65	
			Materia Orgánica	-	8	4	1	4	4	4	4	4	4	4	65	
			Densidad aparente	-	8	4	1	4	4	4	4	4	4	4	65	
			Textura	-	8	4	1	4	4	4	4	4	4	4	65	

Fuente: elaboración propia