



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva, 26 de Junio de 2020

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

LICETH VIVIANA CALDERÓN MANCHOLA con C.C. No. 1075252702

EDNA MILENA JOVEN SANTOFIMIO con C.C. No. 1075235222

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado titulado Incidencia de metales pesados en el suelo por el uso de agroquímicos en áreas dedicadas a la producción de arroz en el Distrito de Riego Asojuncal en el departamento del Huila.

Presentado y aprobado en el año 2020 como requisito para optar al título de Magister en Ingeniería y Gestión Ambiental;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO	AP-BIB-FO-06	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 2
---------------	---------------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Liceth Viviana Calderón Manchola

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Edna Milena Joven Santofimio

Firma: Liceth Calderón M.

Firma: Edna Milena Joven S.



TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: Incidencia de metales pesados en el suelo por el uso de agroquímicos en áreas dedicadas a la producción de arroz en el Distrito de Riego Asojuncal en el departamento del Huila.

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Calderón Manchola	Liceth Viviana
Joven Santofimio	Edna Milena

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Torrente Trujillo	Armando

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Arévalo Hernández	John Jairo
Botero Rojas	Luz Marina

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Magister en Ingeniería y Gestión Ambiental

FACULTAD: Ingeniería

PROGRAMA O POSGRADO: Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental

CIUDAD: Neiva

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2020

NÚMERO DE PÁGINAS: 61

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas___ Fotografías Grabaciones en discos___ Ilustraciones en general Grabados___ Láminas___
Litografías___ Mapas Música ___ Impresa___ Planos___ Retratos___ Sin ilustraciones___ Tablas o
Cuadros

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento:

Adobe Acrobat Reader, o cualquier lector de formato PDF.

Microsoft Office (formato Word).

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



MATERIAL ANEXO:

Copia de los resultados de laboratorio.

PREMIO O DISTINCIÓN (*En caso de ser LAUREADAS o Meritoria*): Ninguna.

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

Español

Inglés

- | | |
|-------------------------------|------------------------------|
| 1. Contaminación del suelo | Soil pollution |
| 2. Aplicación de agroquímicos | Application of agrochemicals |
| 3. Producción de arroz | Rice production |
| 4. Suelos agrícolas | Agricultural soils |

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

La investigación propone seleccionar aleatoriamente algunos suelos del Distrito de Riego el Juncal en el departamento del Huila, dedicados a la producción intensiva de arroz, con el fin de valorar la concentración de seis metales pesados (Pb, Cd, Cr, Mn, Cu y Zn) e identificar posible contaminación por aplicación continua de agroquímicos. Se seleccionan nueve predios y se analizan las propiedades químicas y físicas del suelo para identificar el estado actual y sus características principales. Se aplicaron técnicas y métodos estandarizados en la recolección y análisis de las muestras de suelo, la concentración de los metales se midió con espectroscopia de absorción atómica, utilizando la metodología EPA 3050B. Los resultados según promedios de referencias internacionales, muestran que las concentraciones de los metales pesados no son significativas, calificándose en el rango normal a excepción del Cadmio, que debería ser inferior a 1,1 mg/kg en 6 de los 9 predios evaluados, y Manganeso en el predio la Pista, donde opera una pista de aterrizaje de avionetas dedicada a la aplicación de agroquímicos. Los suelos tienen un pH ácido, que influye sobre los procesos nutricionales del cultivo de arroz. Finalmente se exponen los impactos sobre el suelo, como acidificación, bajo contenido de materia orgánica y algunas estrategias de mitigación para el manejo y uso adecuado de los agroquímicos, como implementación de políticas y programas ambientales.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

The research proposes to randomly select some soils from the Juncal Irrigation District in the department of Huila, dedicated to intensive rice production, in order to assess the concentration of six heavy metals (Pb, Cd, Cr, Mn, Cu and Zn) and identify possible contamination by continuous application of agrochemicals. Nine properties are selected and the chemical and physical properties of the soil are analyzed to identify the current state and its main characteristics. Standardized techniques and methods were applied in the collection and analysis of soil samples, the concentration of metals was measured with atomic absorption spectroscopy, using the EPA 3050B methodology. The results according to international reference averages show that the concentrations of heavy metals are not significant, qualifying in the normal range with the exception of Cadmium, which should be less than 1.1 mg / kg in 6 of the 9 properties evaluated, and Manganese on the La Pista property, where an aircraft runway dedicated to the application of agrochemicals operates. The soils have an acidic pH, which influences the nutritional processes of rice cultivation. Finally,



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

CÓDIGO

AP-BIB-FO-07

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

3 de 3

the impacts on the soil, such as acidification, low organic matter content and some mitigation strategies for the management and proper use of agrochemicals, such as implementation of environmental policies and programs, are exposed.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado: Ing. Ms.c. John Jairo Arévalo Hernández

Firma:

Nombre Jurado: Ing. Ms.c. John Jairo Arévalo Hernández

Firma:

Nombre Jurado: Ing. Ms.c. Luz Marina Botero Rojas

Firma:

**INCIDENCIA DE METALES PESADOS EN EL SUELO POR EL USO DE
AGROQUIMICOS EN ÁREAS DEDICADAS A LA PRODUCCIÓN DE ARROZ EN EL
DISTRITO DE RIEGO ASOJUNCAL EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA**

LICETH VIVIANA CALDERÓN MANCHOLA

EDNA MILENA JOVEN SANTOFIMIO

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar el título de Magister en
Ingeniería y Gestión Ambiental**

Director

DR. ARMANDO TORRENTE TRUJILLO

**FACULTAD DE INGENIERIA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL
UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
NEIVA (HUILA)
2020**

Nota de aceptación

John Jairo Arévalo

Jurado

Luz Marina Botero

Jurado

Armando Torrente Trujillo

Director

Dedicatoria

Quiero dedicar este trabajo de investigación a mi esposo Adrián García Ortiz, quien ha estado incondicionalmente apoyándome en todo el proceso de formación con su amor y palabras de aliento, mis hijos Juan Jacobo y Pedro Pablo quienes son el impulso para siempre querer continuar, mi madre Elena Manchola Jiménez por creer en mí y a mi familia en general, quienes me han acompañado a perseguir mis sueños y me brindan su apoyo continuo.

De manera especial también quiero dedicar esta tesis a mi padre Pedro Calderón Castro (Q.E.P.D), porque por medio de él aprendí la importancia de prepararnos cada día, con el fin de ser mejores personas y ayudar a los demás, infundiendo el conocimiento adquirido.

Con todo el amor del mundo, dedico este logro a mi familia, gracias por ser claves en mi vida, Diego Calderón, Abner Calderón, Rubiela Manchola, Nohemí Ortiz y Libardo García por llevarme en sus oraciones.

Liceth Viviana Calderón Manchola

En primer lugar, doy infinitas gracias a Dios, por haberme dado la vida, la sabiduría y el entendimiento para recorrer el camino que me condujo a culminar esta nueva etapa de mi vida.

De igual manera dedico a mi padre Leonardo Joven Tamayo por la formación que me ha brindado; especialmente a mi madre Edna Cristina Santofimio Sierra, que siempre ha estado cuidándome y guiándome desde cielo, y me enseñó a no desfallecer ni rendirme frente a las adversidades.

A mi hermano Leonardo por ser mi gran amigo, que siempre ha estado junto a mí brindándome su apoyo incondicional, por compartir momentos de alegrías y tristezas y uno de los seres más importantes que me acompaña en todos los sueños y metas de mi vida.

A mis demás familiares por su apoyo, por ser incondicionales y por todo lo que me brindan, quienes con su amor y comprensión han sido parte fundamental en mi vida.

Edna Milena joven S.

Agradecimientos

Gracias a Dios por ser el principal promotor de nuestros sueños, porque gracias a Él podemos lograr cosas que en ocasiones vemos inalcanzables, porque su amor incondicional nos da la fuerza para seguir e intentar ser mejores cada día, su bondad y misericordia nos permiten alcanzar las metas y sueños propuestos. Gracias a Él por las oportunidades brindadas.

Estamos altamente agradecidas con el profesor Armando Torrente, por su paciencia, dedicación, empeño e interés en la ejecución de este proyecto; a nuestros asesores de tesis por las observaciones realizadas con el fin de lograr un trabajo correcto.

Gracias al Distrito de Riego Asojuncal por abrir las puertas para la investigación y permitir cumplir con los objetivos propuestos, en especial a los ingenieros Oswaldo Tovar, Samir Caicedo y Juan Guillermo Bolívar por su atención y amabilidad en el desarrollo del proyecto.

Gracias con especial cariño a todas las personas que de una u otra manera han influenciado en nuestra vida, tanto personal como laboral con cosas positivas y palabras de aliento.

Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN.....	12
2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	15
3. JUSTIFICACIÓN.....	17
4. OBJETIVOS.....	19
4.1. OBJETIVOS GENERALES	19
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
5. MARCO TEÓRICO	20
5.1. EL SUELO	20
5.2. GENERALIDADES DEL CULTIVO DE ARROZ	20
5.3. USO Y APLICACIÓN DE AGROQUÍMICOS	21
5.4. CONTAMINACIÓN DEL SUELO POR METALES PESADOS	23
5.5. METALES PESADOS.....	25
5.6. MUESTREO EN SUELOS.....	28
5.7. IMPACTOS DEL USO DE AGROQUIMICOS SOBRE EL MEDIO AMBIENTE....	29
5.8. MARCO LEGISLATIVO	30
6. METODOLOGÍA.....	32
6.1. RECONOCIMIENTO DE CAMPO Y RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN ...	32
6.1.1. Ubicación geográfica del área de estudio	35
6.1.2. Ubicación geográfica de los puntos de muestreo.....	37
6.2. RECOLECCIÓN DE MUESTRAS	39
6.3. TÉCNICA DE ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS.....	40
7. RESULTADOS	44
7.1. ANÁLISIS FÍSICOS DE SUELOS	44
7.2. ANÁLISIS QUÍMICOS DE SUELOS	45
7.3. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	46
8. CONCLUSIONES.....	50
9. RECOMENDACIONES	52
ANEXO A.....	54

ANEXO B.....	55
ANEXO C.....	55
ANEXO D.....	56
BIBLIOGRAFÍA	57

Listado de tablas

Tabla 1. Estimación de aporte de metales pesados en suelos agrícolas por diferentes fuentes (mg/kg).....	22
Tabla 2. Uso mundial de plaguicidas, según su tipo de acción.....	23
Tabla 3. Características principales de algunos metales pesados.	26
Tabla 4. Información de predios seleccionados.	32
Tabla 5. Etapas del cultivo del arroz.....	34
Tabla 6. Descripción y correlación de las metodologías de análisis de suelos.....	41
Tabla 7. Resultados de análisis físicos de suelos.	44
Tabla 8. Determinación de propiedades físicas del suelo.	45
Tabla 9. Concentración de metales pesados en suelos del Distrito de Riego Asojuncal.	45
Tabla 10. Clasificación del suelo según el nivel de pH.	49
Tabla 11. Valores de referencia para metales pesados en diferentes regiones del mundo (mg/kg).	55

Listado de Ilustraciones

Ilustración 1. Distribución de los plaguicidas en los sistemas bióticos y abióticos.	21
Ilustración 2. Dinámica de los contaminantes presentes en el suelo.	24
Ilustración 3. Muestreo de suelos en forma de zig-zag.	28
Ilustración 4. Localización geográfica Distrito de Riego Asojuncal.	36
Ilustración 5. Mapa Fisiográfico del Distrito de Riego el Juncal.	36
Ilustración 6. Leyenda mapa fisiográfico del Distrito de Riego el Juncal.	37
Ilustración 7. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo en Distrito de Riego Asojuncal..	38
Ilustración 8. Forma de recolección de muestras.	39
Ilustración 9. Homogenización de submuestras de suelo.	40
Ilustración 10. Niveles de referencia propuestos por agencias y diferentes legislaciones en varios países para los metales pesados (mg/kg suelo).	54
Ilustración 11. Agroquímicos empleados en cultivos de arroz del Distrito de Riego Asojuncal.	55

Resumen

La investigación propone seleccionar aleatoriamente algunos suelos del Distrito de Riego el Juncal en el departamento del Huila, dedicados a la producción intensiva de arroz, con el fin de valorar la concentración de seis metales pesados (Pb, Cd, Cr, Mn, Cu y Zn) e identificar posible contaminación por aplicación continua de agroquímicos. Se seleccionan nueve predios y se analizan las propiedades químicas y físicas del suelo para identificar el estado actual y sus características principales. Se aplicaron técnicas y métodos estandarizados en la recolección y análisis de las muestras de suelo, la concentración de los metales se midió con espectroscopia de absorción atómica, utilizando la metodología EPA 3050B. Los resultados según promedios de referencias internacionales, muestran que las concentraciones de los metales pesados no son significativas, calificándose en el rango normal a excepción del Cadmio, que debería ser inferior a 1,1 mg/kg en 6 de los 9 predios evaluados, y Manganeso en el predio la Pista, donde opera una pista de aterrizaje de avionetas dedicada a la aplicación de agroquímicos. Los suelos tienen un pH ácido, que influye sobre los procesos nutricionales del cultivo de arroz. Finalmente se exponen los impactos sobre el suelo, como acidificación, bajo contenido de materia orgánica y algunas estrategias de mitigación para el manejo y uso adecuado de los agroquímicos, como implementación de políticas y programas ambientales.

Palabras clave: Contaminación del suelo, aplicación de agroquímicos, producción de arroz, suelos agrícolas.

Abstract

The research proposes to randomly select some soils from the Juncal Irrigation District in the department of Huila, dedicated to intensive rice production, in order to assess the concentration of six heavy metals (Pb, Cd, Cr, Mn, Cu and Zn) and identify possible contamination by continuous application of agrochemicals. Nine properties are selected and the chemical and physical properties of the soil are analyzed to identify the current state and its main characteristics. Standardized techniques and methods were applied in the collection and analysis of soil samples, the concentration of metals was measured with atomic absorption spectroscopy, using the EPA 3050B methodology. The results according to international reference averages show that the concentrations of heavy metals are not significant, qualifying in the normal range with the exception of Cadmium, which should be less than 1.1 mg / kg in 6 of the 9 properties evaluated, and Manganese on the La Pista property, where an aircraft runway dedicated to the application of agrochemicals operates. The soils have an acidic pH, which influences the nutritional processes of rice cultivation. Finally, the impacts on the soil, such as acidification, low organic matter content and some mitigation strategies for the management and proper use of agrochemicals, such as implementation of environmental policies and programs, are exposed.

Keywords: Soil pollution, application of agrochemicals, rice production, agricultural soils.

1. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, la preocupación por la contaminación de suelos, ríos, aire y otros medios ha incrementado. Pues hoy día todo gira en torno al cuidado del planeta y conservación del medio ambiente en general, debido al deterioro acelerado que se ha ido presentando y que afecta de manera directa e indirecta la flora, fauna y diversos ecosistemas. La principal fuente de contaminación proviene de procesos industriales, puesto que en muchos de los procesos de producción no se tiene en cuenta los factores de contaminación, y no se implementan planes de mitigación y/o compensación que disminuya los impactos ocasionado al medio ambiente, esto también empieza a tener repercusiones sociales y económicas.

En Colombia, existen diversos estudios sobre la contaminación en el agua por sustancias químicas que puedan incidir en la salud; no obstante, la contaminación en suelos aún carece de información, lo cual no quiere decir que se considere nula la presencia de sustancias tóxicas, más cuando los suelos son explotados continuamente por actividades antrópicas.

Tradicionalmente el suelo ha sido considerado como un depositario de cantidades limitadas de desechos humanos y animales, debido a su capacidad de regeneración. Sin embargo, la contaminación en el suelo es uno de los procesos que junto con la erosión contribuye a la rápida degradación del mismo, a la debilitación de su fertilidad y acumulación de sustancias que inhiben el crecimiento de las plantas, siendo las principales consecuencias de su desgaste químico. Sin lugar a duda las explotaciones mineras, la contaminación del agua, las plantas y animales por cuenta de la industrialización, los fertilizantes, insecticidas químicos y otras actividades propias del desarrollo de las sociedades actuales han propiciado el incremento de

metales pesados en el suelo. Como consecuencia, estos elementos potencialmente tóxicos se acumulan lentamente en el perfil del suelo, influyendo en el equilibrio natural de las funciones del suelo y disminuyendo su capacidad de producción y amortiguación de contaminantes (Nicholson *et al.*, 2003).

Los metales pesados representan algunos de los contaminantes más tóxicos para el medio ambiente, debido a su naturaleza no biodegradable, alta solubilidad y su potencialidad para acumularse en diferentes partes del cuerpo; éstos tienen efectos secundarios y graves para la salud humana y representan también un riesgo ambiental. Es importante mencionar que los metales se encuentran de manera natural en el medio ambiente, en concentraciones que, por lo general, no afectan las diversas formas de vida.

En este sentido el arroz es el cereal más importante para el consumo humano y constituye el alimento básico para más de la mitad de la población mundial. Llega a poseer riesgos de contaminación por metales pesados, lo que puede resultar un peligro potencial para el consumidor (Delince *et al.*, 2015). Una vez los metales pesados entran en el suelo pueden ser absorbidos por las plantas que crecen en él o ser retenidos en forma soluble e insoluble, estando en continuo cambio en los suelos húmedos, debido al ciclo de condiciones anaeróbicas y aeróbicas que afectan el potencial Redox del suelo. La presencia en los suelos de concentraciones nocivas de algunos elementos químicos y compuestos puede ser geogénico o antropogénico. Los primeros pueden proceder de la propia roca madre en la que se formó el suelo, de la actividad volcánica o del lixiviado de mineralizaciones, por el contrario, los antropogénicos se producen por las actividades humanas (Galán y Romero, 2008).

Estudios demuestran la existencia importante de Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Cobalto (Co), Zinc (Zn), Hierro (Fe), Manganeseo (Mn), Níquel (Ni) y Plomo (Pb) en los plaguicidas normalmente utilizados para este tipo de cultivos (Boluda *et al*). No obstante, en Colombia no se cuenta con un marco legal y normativo que indique los niveles máximos permisibles para metales pesados en suelos y que regule los procesos de producción de arroz en el país, lo cual inhibe el control sobre la aplicación de agroquímicos en este tipo de cultivos; por esta razón se establece como objetivo principal de estudio evaluar la incidencia del Plomo (Pb), Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Manganeseo (Mn), Cobre (Cu) y Zinc (Zn) en suelos de producción intensiva de arroz en el Distrito de Riego Asojuncal en el departamento del Huila, teniendo en cuenta que este departamento es uno de los principales productores de arroz del país.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El arroz es el alimento básico de más de la mitad de la población mundial, ya que más del 40% depende de este y es uno de los cereales que aporta el 27% de la energía digestible y el 20% de la proteína total en la dieta humana (Díaz & Chaparro, 2012). La producción intensiva tradicional de cultivo de arroz demanda hoy el uso de una diversidad de agroquímicos que contienen altas concentraciones de metales pesados, los cuales causan afectación a los recursos naturales y posiblemente a la población en general.

El distrito de riego ASOJUNCAL, está dedicado a la siembra intensiva de arroz y se encuentra ubicado sobre la margen izquierda del río Magdalena en la inspección del Juncal, municipio de Palermo, a 13 kilómetros de la ciudad de Neiva en el departamento del Huila y no se conocen investigaciones en esta zona relacionadas con el uso de agroquímicos y las posibles consecuencias que pueda acarrear; sin embargo la población del corregimiento El Juncal en ocasiones manifiestan afecciones a la salud relacionados con daños a la piel, pérdida y deterioro de piezas dentales, alteraciones del sistema nervioso, etc. (Torrente, 2018). Así mismo, no se cuenta con planes de mitigación o estrategias que permitan la recuperación del suelo y evite la afectación por el uso no controlado de agroquímicos.

En los inventarios realizados por Torrente (2018) en el Distrito de Riego el Juncal, informa sobre un promedio de 20 productos agroquímicos o plaguicidas utilizados por campaña de arroz y constituidos especialmente por herbicidas, funguicidas, insecticidas, que utilizan como ingredientes activos sustancias de la familia organoclorados, organofosforados, etc. en las categorías I, II y III. Algunos ingredientes activos son: Oxadiazon, Butaclor, Prethilachlor Clomazone, Diflufenican, Pendimetalina, Bispyribac sodio, Quinclorac, Bentazón

Propanil, Triclopyr, Metsulfuron, Cyhalofop, Paraquat, Glifosato, Azoxistrobina, Difenoconazol Prochloraz, Propiconazol, Mancozeb, Propineb, Carbendazim, Tebuconazole, Isoprothiolan, Prochloraz, Tiametoxam, Lambdacialotrina, Fipronil, Imidacloprid, LamdaCyhalotrina y Tiametoxam entre otros.

Por lo anterior, se formula la siguiente pregunta de investigación: *¿Cuáles son los efectos residuales originados por el uso de agroquímicos y su incidencia específica en el suelo?* teniendo en cuenta que los agroquímicos hacen referencia a una mezcla de sustancias químicas clasificadas en diversos grupos como los plaguicidas, herbicidas, pesticidas, acaricidas, fungicidas, entre otros.

La disminución de los plaguicidas en los cultivos de arroz es de vital importancia, para ello se requiere mayor investigación e información sobre el tema y conocer su relación con la contaminación de factores naturales como, por ejemplo, el suelo.

3. JUSTIFICACIÓN

El interés principal de la investigación a partir del tema: Incidencia de metales pesados el suelo por el uso de agroquímicos en áreas dedicadas a la producción intensiva de arroz, parte de una reflexión por la situación actual que atraviesa nuestro planeta desde el punto de vista ambiental. Cabe resaltar la importancia del suelo como componente esencial de la biosfera ya que, además de ser un sumidero geoquímico para los contaminantes, también actúa como una barrera natural en el control del transporte de elementos químicos y de sustancias a la atmosfera, la hidrosfera y la biota. Sin embargo, la función más importante del suelo es su productividad básica para la supervivencia de los seres humanos. Por ello, el mantenimiento de las funciones ecológicas y agrícolas del suelo es responsabilidad de la humanidad (*Kabata-Pendias y Pendias, 2001*).

Por su parte la agricultura es una actividad económica fundamental en países en desarrollo como Colombia, siendo esta la principal fuente de empleo y generación de ingresos para el sector rural (Becerra A, Junguito R, y Prerfetti J, 2014). En Colombia, el café, el maíz y el arroz, han sido en su orden los cultivos de mayor importancia productiva en las tres últimas décadas debido al área cultivada, volumen de producción y generación de empleo (AGRONET, 2014); El arroz es considerado el cultivo más importante del mundo, además de ser un producto básico como el maíz, posee la mayor extensión de tierra cultivada y el mayor número de personas dedicadas a su producción. Casi el 50% de la población mundial, depende del arroz como parte importante de su dieta. La producción de arroz en Colombia, genera alrededor de 500 mil empleos directos e indirectos, en más de 215 municipios, los cuales dependen en un 90% de ésta actividad (Chica, J.; Tirado, Y.; Barreto, J. 2016). Basadas en que la producción de arroz es una de las principales actividades económicas rentables y sostenible, y que a su vez contribuye al progreso de la región.

Además de ellos en el país no existen estudios significativos de contaminación de suelos por metales pesados atribuidos al uso de agroquímicos, a eso es importante destacar que se carece de un marco legal y normas que establezcan los límites permisibles, lo cual causa que no se tenga un control riguroso en las cantidades de agentes agroquímicos que se deben aplicar a dicho cultivo.

Lo que se pretende, es que esta investigación aporte un nuevo enfoque o perspectiva sobre la problemática y que sea pionero en el departamento del Huila debido a que esta es una de las principales actividades agrícolas que contribuya a la solución del problema ambiental que afecta a todo el ecosistema. Con los resultados y análisis de las muestras recolectadas en cada predio, se busca generar datos empíricos significativos que sean punto de partida e iniciativa para futuras investigaciones, aportando no solo a la comunidad local y regional, sino que por el contrario se pueda generar un impacto a nivel nacional con el aporte de información científica que permita buscar respuestas a muchos interrogantes sobre la aplicación o no aplicación de insumos agrícolas.

Siendo consecuente con todo lo anterior es necesario identificar los impactos que genera la concentración de metales pesados en suelo arrocero del distrito de riego Asojuncal, y de la misma manera plantear estrategias para solucionar o hacer frente a esta problemática que deteriora el equilibrio de los agro-ecosistemas.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVOS GENERALES

Evaluar la incidencia de metales pesados Plomo (Pb), Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Manganeseo (Mn), Cobre (Cu) y Zinc (Zn) en suelos dedicados a la producción intensiva de arroz en el Distrito de Riego Asojuncal en el departamento del Huila.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar las propiedades físicas y químicas de los suelos dedicados a la producción intensiva del cultivo de arroz en el distrito de riego Asojuncal, tales como, textura, materia orgánica, densidad, color, CIC, pH.
- Determinar la concentración de metales pesados (Plomo, Cadmio, Cromo, Manganeseo, Hierro y Zinc), potencialmente tóxicos en suelos arroceros del distrito de riego Asojuncal.
- Analizar los resultados de las concentraciones de metales pesados objeto de estudio, sus impactos y consecuencias sobre el suelo en el distrito de riego Asojuncal.

5. MARCO TEÓRICO

5.1. EL SUELO

El suelo es un material poroso y una parte fundamental de los ecosistemas terrestres. Contiene agua y elementos nutritivos que los seres vivos utilizan. En él se apoyan y nutren las plantas en su crecimiento y condiciona, por tanto, todo el desarrollo del ecosistema. El suelo es la capa superficial no consolidado de la superficie terrestre, la que está formada predominantemente por compuestos inorgánicos (Fassbender, 1987).

Un suelo con buena estructura generalmente produce cosechas sostenidas y estables en el tiempo. Es fácil de cultivar, no es arrastrado fácilmente por la lluvia ni por el viento, el aire y el agua penetran muy bien y las raíces de las plantas tienen buen desarrollo. Los suelos con mala estructura se conocen porque cuando están húmedos son como una masa, y cuando se trabajan las herramientas se pegan (Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. 2002).

5.2. GENERALIDADES DEL CULTIVO DE ARROZ

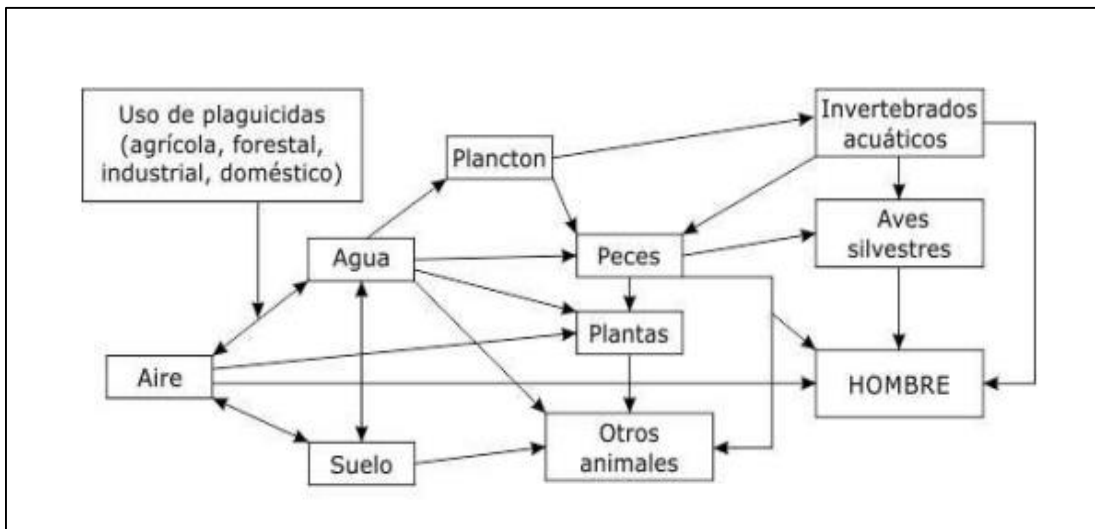
Es el cultivo de grano más importante para el consumo humano en los países tropicales de la región de América Latina y el Caribe, porque proporciona más calorías a la dieta de los habitantes de esa región que el trigo, el maíz, la yuca, el arroz y otros alimentos. Brinda a los consumidores de escasos recursos, en particular, más calorías que cualquier otro cultivo de primera necesidad. En esta región de rápido crecimiento urbano, el fuerte atractivo del arroz corresponde a su conveniencia y sus muchas bondades alimenticias (CIAT, 2010).

5.3. USO Y APLICACIÓN DE AGROQUÍMICOS

El uso de los agroquímicos es múltiple y variado. La agricultura es la actividad que más emplea este tipo de compuestos, consumiendo hasta el 85 % de la producción mundial, con el fin de mantener un control sobre las plagas que afectan los cultivos. Un 10 % de la producción total de los plaguicidas se emplea en salud pública para el control de las enfermedades transmitidas por vectores, como la malaria, dengue, enfermedad de Chagas, entre otras; control de roedores, etc, (OMS, 2017).

El uso de estos compuestos genera evidentemente una contaminación ambiental principalmente por las aplicaciones directas a cultivos agrícolas, lo que conlleva a una crisis de la agricultura dificultando la preservación de los ecosistemas, recursos naturales y poniendo en riesgo la salud de las personas (Ilustración 1).

Ilustración 1. Distribución de los plaguicidas en los sistemas bióticos y abióticos.



Fuente. Del Puerto Rodríguez *et al.*, 2014.

Además de la aplicación de estos insumos agroquímicos, también existe contaminación por la inadecuada disposición final de los contenedores de los mismos. Aunque en Colombia las empresas productoras de insumos agrícolas están comprometidas con la recolección de los envases, como requisito de los programas post-consumo de plaguicidas en Colombia, pese a esto, se sigue realizando un manejo inadecuado de los recipientes vacíos.

En la siguiente tabla, se puede observar el aporte estimado de algunos metales pesados al suelo, en peso seco (mg/kg).

Tabla 1. Estimación de aporte de metales pesados en suelos agrícolas por diferentes fuentes (mg/kg).

Metal pesado	Fertilizantes fosfatados	Fertilizantes nitrogenados	Fitosanitarios	Estiércol	Lodo de aguas residuales
Pb	7-225	2 – 27	60	6.6 – 15	50 – 3000
Cd	0.1 – 170	0.05 – 8.5	1.38 – 1.94	0.3 – 0.8	2 – 1500
Cu	1 – 300	1 – 15	12 – 50	2 – 60	50 – 3300
Zn	50 – 1450	1 – 42	1.3 – 25	15 – 250	700 – 49000
Cr	66 – 245	3.2 – 19	13	5.2 – 55	20 – 40600
Ni	7 – 38	7 – 34	0.8 - 14	7.8 - 30	16 – 5300

Fuente. Rueda *et al.*, 2011.

Dentro de los agroquímicos se encuentran diversos grupos de compuestos de sustancias empleadas para la prevención, mitigación o destrucción de algún tipo de plaga que pueda llegar a afectar directa o indirectamente un cultivo. Entendiendo por plaga cualquier organismo que ataca o destruye los cultivos y plantas, inclusive en algunas ocasiones interferir en el bienestar de las personas. Entre los grupos de compuestos agroquímicos más conocidos están los insecticidas, herbicidas, acaricidas, fungicidas, raticidas, fitoreguladores y fertilizantes (ver tabla 2).

Tabla 2. Uso mundial de plaguicidas, según su tipo de acción.

Tipo	Descripción
Herbicidas (45%)	Organoclorados, dinitrofenoles, ácidos carboxílicos, ácidos oxialcanoicos, anilinas, triazinas, tiocarbamatos, organofosforados, otros.
Insecticida (32%)	Organoclorados, organofosforados, carbamatos, piretroides, otros
Fungicida (18%)	Organoclorados, fenoles, ditiocarbamatos, otros.
Otros (5%)	Otros.

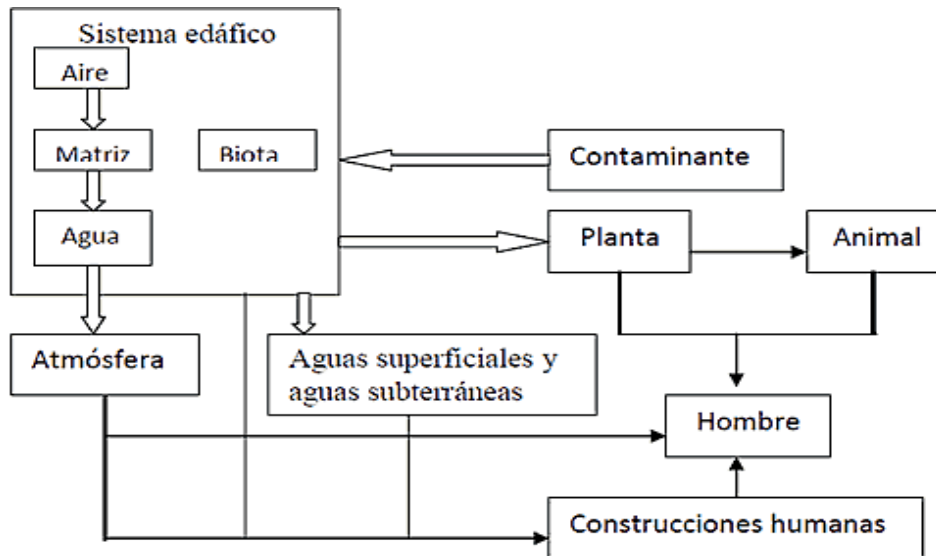
Fuente. (Mohammad *et al*, 2009).

5.4. CONTAMINACIÓN DEL SUELO POR METALES PESADOS

Demostrar que un suelo se encuentra contaminado, no es una tarea fácil, y más si se trata de metales pesados, puestos que pueden ser encontrados en el ambiente de forma natural o por factores antrópicos (Brizuela, J; Jiménez, Y. 2012).

Las concentraciones anómalas de metales pesados en los suelos pueden deberse a causas naturales, como actividad volcánica, procesos de formación de suelos, huracanes, erosión de rocas, terremotos, tsunamis o también a causas antropogénicas como pueden ser la minería, la combustión de carburantes fósiles, la industria a través de los vertidos, emisiones, residuos (incineración, depósito), como algunos pesticidas y fertilizantes.

Ilustración 2. Dinámica de los contaminantes presentes en el suelo.



Fuente. Roca Fernández, A.I.

El suelo cumple una función de interface, es decir, regulador o controlador de contaminantes, el cual permite que éstos puedan permanecer retenidos grandes períodos de tiempo (lo que aumenta la posibilidad de que puedan ser degradados y perder su naturaleza contaminante) o ser tan móviles que se incorporen a los demás medios y, de ahí, a las redes tróficas con los consecuentes problemas que ello acarrearía; cabe resaltar que esto se lleva a cabo entre aspectos como biosfera (biomasa terrestre, biomasa marina y hombre), la litosfera (corteza, suelo y sedimentos), la hidrosfera (agua dulce y agua de mar) y la atmósfera.

La contaminación por metales pesados en el suelo puede llegar a persistir cientos y miles de años, aun después de que su incorporación se haya detenido. En el caso de metales como el Cd, Cu y Pb pueden llegar a tener una vida media en el suelo de 15 a 1100, 310 a 1.500 y 740 a 5.900 años, respectivamente, y sus concentraciones están influenciadas por el tipo de suelo y la movilidad relativa en función de las características fisicoquímicas, el clima y la topografía.

Estos metales son clasificados en 2 grupos, el primero de ellos considera los micronutrientes esenciales para los organismos vivos, tales como, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn, pero que pueden producir efectos nocivos cuando superan determinados niveles, y el segundo grupo está compuesto por aquellos que no presentan una función biológica conocida y que después de ciertos niveles provocan disfunciones graves en los organismos, como es el caso de Cd, Pb, As y Hg (Rueda et al., 2011).

Los metales pesados en suelos pueden presentar gran variabilidad debido a la composición del material parental y los procesos de formación y evolución del suelo. Sin embargo, estas concentraciones pueden verse modificadas o aumentar por diferentes prácticas agrícolas, como, por ejemplo, la aplicación de fertilizantes y agroquímicos.

5.5. METALES PESADOS

Los metales pesados son elementos con densidad superior a 5 g.cm^{-3} . Generalmente se encuentran en pequeñas cantidades y pasan a ser tóxicos a partir de un determinado umbral de concentración (Rueda *et al.*, 2011). Los metales pesados pueden ser absorbidos por las plantas dependiendo de su disponibilidad en el suelo y de los mecanismos de selectividad propios de cada especie, variedad o genotipo. Algunos metales pesados entre ellos Manganeseo (Mn), Cobre (Cu) y Zinc (Zn), constituyen elementos esenciales en el metabolismo de las plantas, otros en cambio son fitotóxicos, como el Cadmio (Cd) y el Plomo (Pb). La siguiente tabla, muestra las principales características de algunos metales de interés agrícola y ambiental.

Tabla 3. Características principales de algunos metales pesados.

Metal Pesado	Densidad (g/cm³)	Nivel típico en suelos (mg/kg)	Esencial para organismos vivos	Tóxico
Pb	11.3	20	-	A, P, H
Cd	8.7	0.35	-	A, P, H
Cu	8.9	30	A, P, H	P
Zn	7.1	90	A, P, H	P
Cr	7.2	40	A, H	P, H
Ni	8.9	20	A, P, H	A, P, H

A: Animal; P: Planta; H: Hombre.

Fuente. Rueda *et al.* 2011.

Cadmio

El Cd es un elemento de naturaleza química similar al Zn. El Cadmio es considerado uno de los metales traza del suelo más solubles y peligrosos, debido a su alta movilidad y que además en pequeñas concentraciones puede tener efectos nocivos en las plantas. De acuerdo con la FAO y OMS (1993), el valor límite sugerido para cereales y leguminosas de grano es de 0,1 mg.kg⁻¹.

Cromo

La mayoría de los suelos contienen cantidades significativas de Cr, pero su disponibilidad para las plantas es limitada. El Cr puede presentarse en varios estados de valencia, los más comunes son el metálico, trivalente y hexavalente. El Cr trivalente comúnmente está en la naturaleza y es un nutriente esencial para el ser humano ya que estimula la acción de la insulina en los tejidos.

Cobre

El Cu tiene movilidad relativamente baja con respecto a otros elementos en las plantas, permaneciendo en los tejidos de las raíces y hojas hasta su senescencia. La acumulación de Cu en órganos reproductivos varía ampliamente con la especie. Las mayores concentraciones de Cu

en órganos reproductores se han encontrado en el embrión y la cubierta seminal de granos de cereal; Pérez *et al.*, 2004 señalan que la relación (metal en grano y en hoja / metal cambiante en suelo) decrece en orden $Zn \gg Cu \gg Pb \gg Cd$, siendo más altos para hojas que para grano.

Se puede presentar toxicidad de cobre debida a aspersiones continuas con fungicidas, la cual es posible corregir con encalamiento o adiciones de sulfato de hierro (Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, 2002).

Manganeso

Es un elemento común en la corteza terrestre, generalmente como óxido e hidróxido. Este metal es esencial para el desarrollo normal de las plantas. Sin embargo, cuando el metal se encuentra en alta concentración en la solución del suelo puede ocurrir absorción pasiva (Kabata-Pendias, 2010). Cuando la disponibilidad de Mn es elevada en el suelo puede ser rápidamente trasladado dentro de la planta a otros órganos.

Plomo

El plomo, varía en los horizontes superficiales del suelo en un rango de 3 a 189 mg kg⁻¹, mientras que los valores medios para tipos de suelos varían entre 10 a 67 mg kg⁻¹ con un promedio de 32 mg kg⁻¹. La localización característica del Pb cerca de la superficie del suelo, se relaciona con la acumulación superficial de materia orgánica.

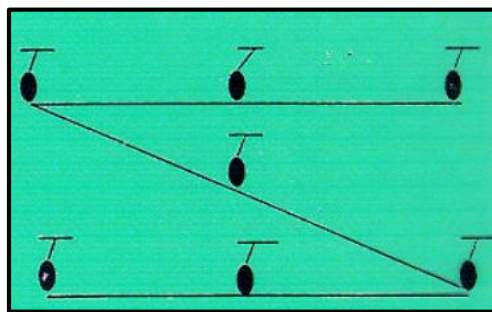
Zinc

El Zn es un elemento esencial para las plantas, porque participa en muchos procesos metabólicos. El contenido medio de Zinc en la superficie de los suelos de diferentes países varía entre 17 a 125 mg kg⁻¹.

5.6. MUESTREO EN SUELOS

Esta es considerada la fase inicial y fundamental para una adecuada interpretación de los resultados de laboratorio. La herramienta más apropiada para el muestreo es el barreno, debido a que permite mantener una cantidad y profundidad de muestra bastante homogénea por punto, sin embargo, también puede hacerse uso de un palín (IGAC). El método más adecuado es el zig-zag, mediante el cual se toman unas 15 o 20 submuestras a lo largo y ancho del terreno que luego se mezclan en un recipiente completamente limpio. Este método consiste en líneas cruzadas caminando unos 25 a 30 pasos desde cada punto seleccionado de muestreo. Esto se hace para cada lote definido, se recolectan las submuestras, las cuales se mezclan para obtener una muestra representativa (Ilustración 3).

Ilustración 3. Muestreo de suelos en forma de zig-zag.



Fuente. Bernier, R

Para iniciar el muestreo es necesario hacer una división previa del terreno en donde se van a tomar las submuestras, teniendo en cuenta que no se debe muestrear en áreas cercanas a taperas viejas o corrales, caminos, aguadas, sectores de carga y descarga de fertilizantes y construcciones; para ello es importante dejar una distancia de 50 metros desde los alambrados perimetrales.

5.7. IMPACTOS DEL USO DE AGROQUIMICOS SOBRE EL MEDIO AMBIENTE

El uso masivo de los diversos tipos de componentes químicos para el manejo del suelo, ha contribuido a la destrucción de la capa fértil del mismo, a su mineralización, compactación y en muchos casos ha conllevado a la erosión. Los aspectos anteriormente descritos ocasionan disminución en la capacidad de absorción y retención de agua contribuyendo al empobrecimiento y deterioro ambiental.

Como se sabe, toda acción trae una consecuencia, asimismo sucede con la aplicación desmedida de abonos químicos, herbicidas, fungicidas y demás agroquímicos, puesto que también inhibe la capacidad de defensa de las plantas, volviéndolas más susceptibles al ataque de plagas y parásitos. Los daños ocasionados al medio ambiente son innumerables, puesto que la aplicación por fumigación o esparcimiento, pulverización, etc., también conlleva a la contaminación del agua, ya sea por infiltración o por escorrentía. Sin mencionar que afecta de manera indirecta a la población aledaña y consumidora de los productos sembrados, es un proceso a largo plazo, pero que genera daños muy perjudiciales y no regresivos. Entendemos que esto se convierte en una cadena de contaminación.

De acuerdo con Roca Fernández, la presencia de metales pesados en el suelo, generan algunos efectos adversos sobre el medio ambiente que pueden actuar de manera directa o indirecta sobre el suelo. Algunos de ellos, es la inhibición de la actividad enzimática de los mismos, debido a su destrucción del poder de autodepuración, contaminación de aguas superficiales por escorrentía o procesos de transferencia, variación en la disponibilidad de elementos en el suelo a largo plazo, modificación de la estructura natural del suelo por la pérdida de sus propiedades físico-químicas y posible reducción de fertilidad por la disminución de la capa vegetal en el suelo.

5.8. MARCO LEGISLATIVO

Es importante mencionar que no existe una metodología única, explícita y estandarizada para la calidad de los suelos evaluada con respecto a metales pesados. Por ejemplo, en Venezuela a pesar de que hay un amplio marco legal sobre protección de los recursos naturales, no hay normativas específicas que reglamenten la protección del suelo por contaminación de metales pesados. Solo unos pocos países ya han establecido los valores de referencia para los metales pesados. En aquellos en donde aún no se han establecido, utilizan los valores de referencia de países extranjeros (ver ANEXO A y B).

Holanda ha desarrollado niveles de referencia para metales pesados en función de la fracción de arcilla, se calculan mediante ecuaciones de regresión lineal en las que se considera un suelo estándar con 25% de arcilla y 10% de materia orgánica, teniendo en cuenta los niveles de fondo de suelos holandeses. Esta normativa no se puede aplicar en países mediterráneos o en Venezuela, porque los suelos son muy diferentes. En Estados Unidos, Alemania y Suiza se han establecido niveles de referencia con rango normativo. En España tienen rango normativo las

comunidades del país vasco, Madrid y otros están en proceso de aprobación como en Cataluña.
(Brizuela, J; Jiménez, Y. 2012).

Actualmente en Colombia no existe una norma específica alguna que defina los niveles mínimos o máximos de concentración en metales pesados para suelos agrícolas, sin embargo, pueden mencionarse algunos Decretos y Leyes, que regulan el uso de los plaguicidas y conservación del medio ambiente en el país:

- Decreto 1843 de 1991. Por el cual se reglamentan parcialmente los títulos III, V, VI, VII y XI de Ley 09 de 1979, sobre uso y manejo de plaguicidas.
- Ley 9 de 1979. Código Sanitario Nacional. Protección del medio ambiente.
- Resolución del ICA1068 de 1996. Adopta el Manual Técnico en materia de aplicación aérea y terrestre de los insumos agrícolas.
- Decreto 2811 de 1974. Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.

6. METODOLOGÍA

6.1. RECONOCIMIENTO DE CAMPO Y RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Se realiza visita de campo para socializar el proyecto con el personal técnico del Distrito Asojuncal y solicitar el apoyo logístico para el acompañamiento a los predios y recolección de muestras. Luego se realizó la selección aleatoria de nueve fincas productoras de arroz, de acuerdo con la zonificación y clasificación textural de suelos establecida por Asojuncal para el año 2018. Se procuró seleccionar predios que tuvieran diferente clasificación textural para observar el comportamiento de los metales de estudio a través de los distintos tipos de suelo. La información recolectada de cada uno de los predios quedó de la siguiente manera:

Tabla 4. Información de predios seleccionados.

INFORMACIÓN MUESTREO DE SUELOS EN DISTRITO DE RIEGO EL JUNCAL				
Predio	Propietario	Área De Siembra (Ha)	Fase Del Cultivo	Observaciones durante el muestreo
Villa Milena	Henry Llanos	10	Sembrada	Día soleado y despejado. De las primeras cinco muestras recolectadas las dos iniciales tenían color rojizo y forma compacta, mientras que las tres últimas eran más sueltas y color café claro.
La Laguna	José Montenegro	7,2	Sembrada	Día despejado y soleados, bastante viento. Suelo con pasto medio alto.
El Silencio	Omar González	7,7	Preparación	Cielo despejado, suelo demasiado compacto y duro de color grisáceo.
Mi Finquita	Carlos julio Pinzón	6,1	Sembrada	Suelo color café y textura arenosa.
La Pista	Orlando Polo	3,5	Preparación	Alto brillo solar, textura del suelo pedregosa.
El Lago	Arnulfo Gutiérrez	6,28	Preparación	Día soleado, con gran ventisca.
Yuventus	Yolanda Sánchez	10,9	Preparación	Poco soleado, cosecha recogida. Suelo compacto en la superficie y suelto a profundidad, suelo color café.

INFORMACIÓN MUESTREO DE SUELOS EN DISTRITO DE RIEGO EL JUNCAL				
Predio	Propietario	Área De Siembra (Ha)	Fase Del Cultivo	Observaciones durante el muestreo
Villa Alejandra	Jorge Guzmán	6,2	Preparación	Pasto de altura baja, de color verde-amarillo. Con riego reciente.
El Sinaí	Milton Sánchez	6,3	Sembrada	Lleva un mes de sembrado las semillas de arroz.

Fuente. Elaboración propia.

Durante la visita a campo, se interroga a los encargados de los predios, con algunas preguntas acerca de los periodos y frecuencia de aplicación de agroquímicos al suelo, los tipos empleados en el cultivo del arroz, mecanismos de aplicación, técnicas de remediación del suelo, entre otras.

A los que la mayoría respondieron:

“De 4 a 5 días después del remojo del suelo, se aplican pre-emergentes en el terreno a cultivar. Estos pre-emergentes, en su mayoría son del grupo herbicidas, empleados para el control de malezas. A los 8 días de la siembra se realiza la aplicación de otro tipo de herbicida, haciendo lo que comúnmente llaman estaneada, con el fin de asegurar que no crezca ningún tipo de maleza”.

También realizan aplicación de **Glifosato** para el control de malezas perennes, muy conocido en Colombia por toda la polémica generada con respecto a su prohibición o libre uso. Ésta aplicación la realizan dos veces en el transcurso de un mes, generalmente se hace cuando el suelo ha sido sometido a quemas luego de finalizar una cosecha. Después de la segunda aplicación, se cuentan 15 días para iniciar la nueva siembra.

Es importante mencionar que la duración total de la siembra se encuentra entre 120 - 130 días:

Tabla 5. Etapas del cultivo del arroz.

DIA INICIO	DIA FINAL	ESTADO
0	15	Germinación
16	25	Inicio Macollamiento
26	45	Macollamiento
46	60	Max. Macollamiento
61	80	Promordio Floral
81	90	Embuchamiento
91	100	Floración
101	115	Grano Lechoso
116	118	Grano Pastoso
119	130	Maduración

Fuente. Elaboración propia.

La aplicación de estos pre-emergentes, puede ser realizada por reparcheo o dirigido dependiendo de la necesidad del control de malezas. Generalmente utilizan un galón (1 gal) por hectárea (ha), mientras que, en el caso del glifosato, utilizan 3 litros por hectárea.

En cuanto a los tipos de agroquímicos utilizados en los cultivos de estos predios, se tuvo por respuesta: herbicidas, fungicidas, insecticidas y fertilizantes. Entre los más empleados mencionaron el Ronstar 25, Ronstar 38 y los observados en campo, Glistec 400 SC, Agro-Surfil DC, Stimplex, Credit, entre otros (ver ANEXO C). Estos se aplican una vez el cultivo esté en marcha, entre dos a cuatro veces. El método más empleado para su aplicación es por medio de la fumigación, ya sea aérea o manual.

Como se evidencia en el anexo C, en algunos de los predios se encontró deficiencia en la disposición final de los recipientes contenedores de los insumos químicos. Estos se encontraban apilados a un lado de la carretera o en cualquier zona dispuesta del predio. Algunos encargados

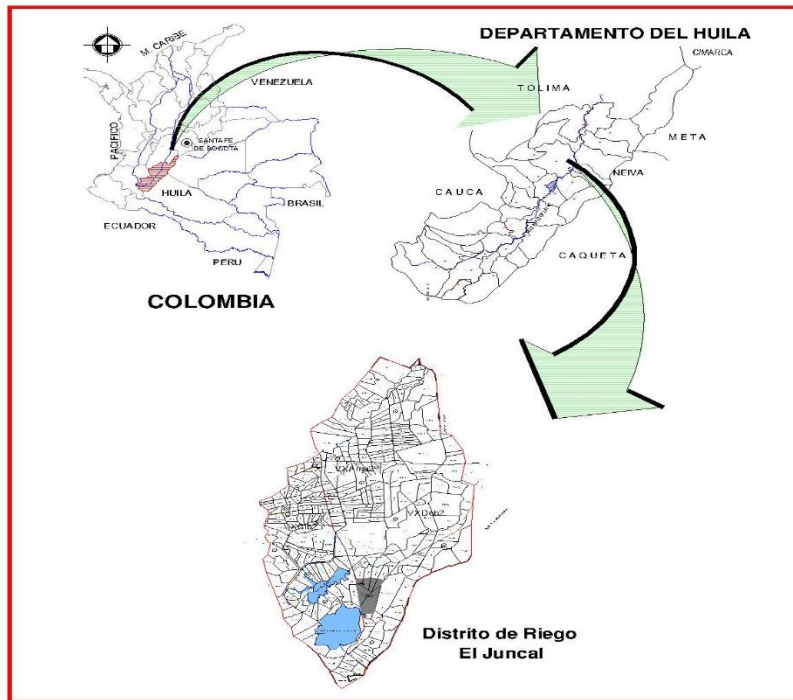
manifestaron tener convenio con una empresa autorizada para la recolección de residuos peligrosos, pero no todos se acogen a esta condición, en otros casos, se almacenan en los mismos predios, bajo condiciones que ellos consideran seguras.

Con respecto a las técnicas de remediación aplicadas al suelo, en algunas de las fincas, emplean la gallinaza como abono para el suelo, debido a su alto contenido de nutrientes en nitrógeno, fosforo y potasio. En otros casos, utilizan también la dolomita, para el aporte de calcio y magnesio al suelo. No obstante, no es un común denominador, que estas técnicas se realicen de manera periódica, puesto que son predios que están dedicados a la producción intensiva del arroz.

6.1.1. Ubicación geográfica del área de estudio

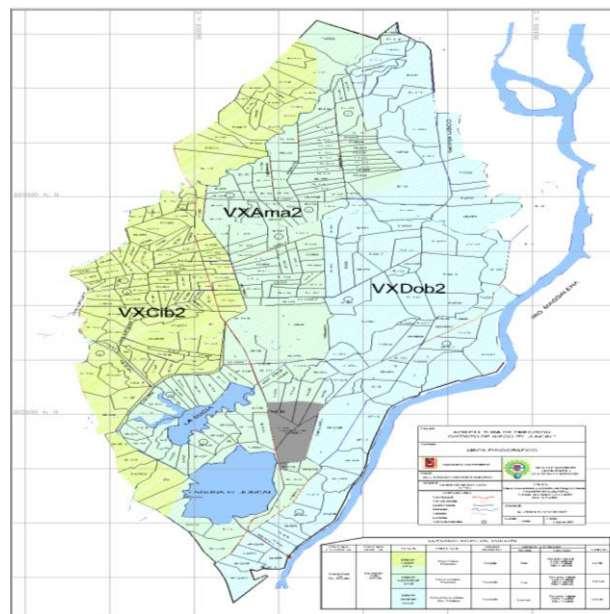
El distrito de riego el Juncal (Asojuncal) se ubica en la jurisdicción del mismo nombre, pertenece al área rural del municipio de Palermo-Huila (N 2°51'54" - W 75°19'30"), es una zona apta para la producción agrícola y pecuaria; su principal fuente hídrica es la laguna el Juncal, el cual es alimentada por el río Magdalena mediante un sistema de bombeo a través de un canal aductor (ver ilustración 4). Su función es la de irrigar aproximadamente 3397 has. Predomina la producción de arroz con riego superficial en condiciones de clima cálido seco. Está en el área de influencia de las estaciones meteorológicas Palermo y Totumo, y en la franja altitudinal de 500 a 700 m.s.n.m, temperaturas promedias diarias mayor a 24°C y precipitación promedia anual de 1380 mm (ilustración 5 y 6).

Ilustración 4. Localización geográfica Distrito de Riego Asojuncal.



Fuente. Página web Asojuncal. <http://www.asojuncal.com/localizacion>.

Ilustración 5. Mapa Fisiográfico del Distrito de Riego el Juncal.



Fuente. Administración Asojuncal.

Ilustración 6. Leyenda mapa fisiográfico del Distrito de Riego el Juncal.

LEYENDA MAPA DE SUELOS							
PROVINCIA FISIOGRAFICA	PROVINCIA CLIMATICA	PAISAJE	SUB-PAISAJE	UNIDAD DE MAPEO	UNIDAD TAXONOMICA		SIMBOLO
					Nombre	Sub-Grupo	
Planicie Aluvial del Rio Magdalena	Piso Térmico Cálido < 1000 mts.	TERRAZA ANTIGUA VXA1a	Plano Concava Erosionada	Complejo	Cielo	Fluventic Haplustoll Acuic Ustifluent Acuic Ustrocept Tipyc Haplustalf	VXCib2
		TERRAZA SUB-RECIENTE VXC1a	Concava-Convexa Erosionada	Asociacion	Ama	Fluventic Ustrocept Ustic Dystrocept Tipyc Haplustalf Tipyc Ustifluent	VXAma2
		TERRAZA RECIENTE VXD01a	Plano-Concava-Convexa Mod. Erosionada	Asociacion	Domador	Fluventic Ustrocept Lithic Ustorthernt Tipyc Ustorthernt	VXDob2

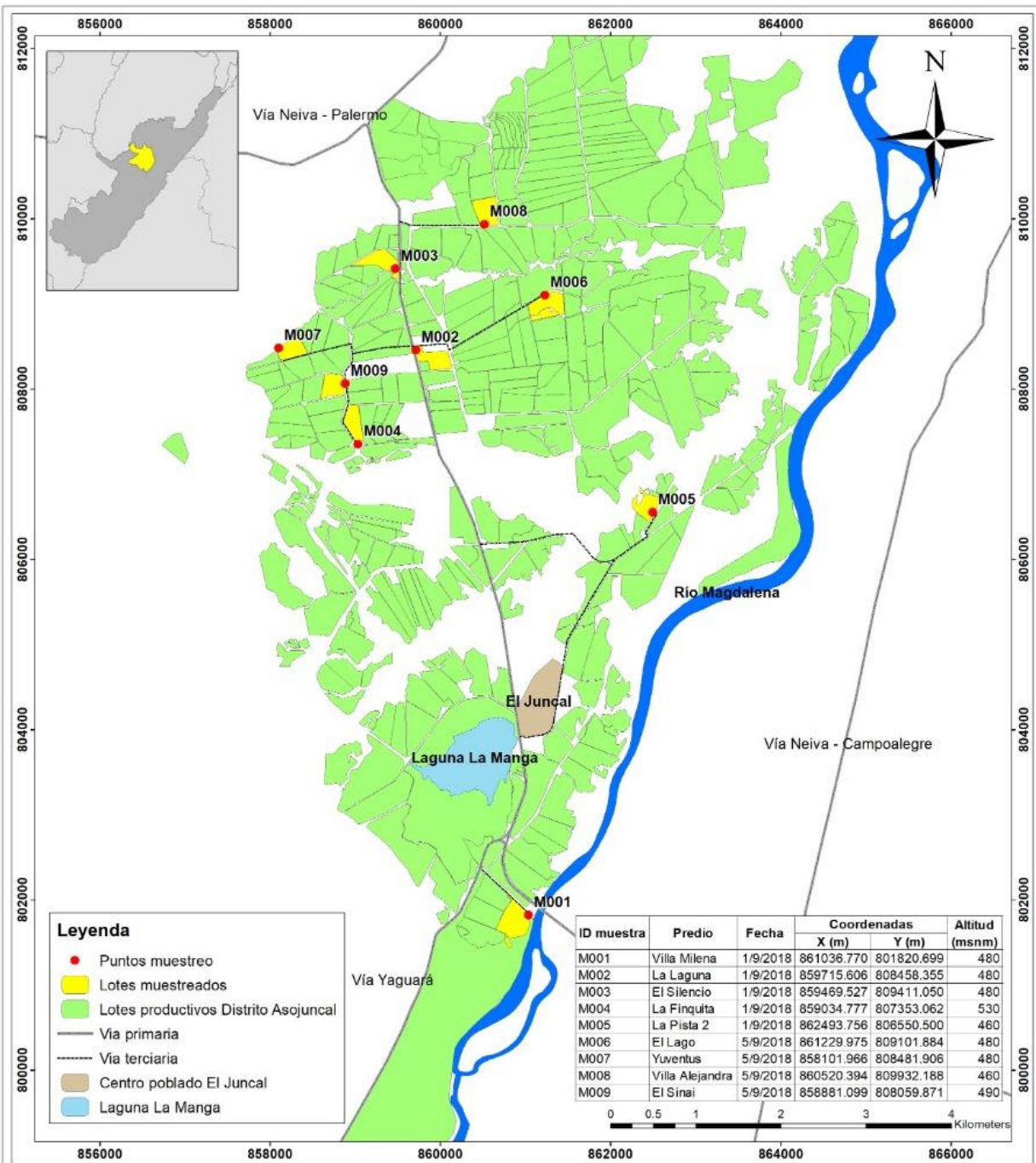
Fuente. Administración Asojuncal.

El Distrito de Riego Asojuncal corresponde a una zona de bosque seco tropical. Son áreas planas, generalmente con pendientes leves, con diferentes grados de erosión. Se caracteriza por presentar suelos de texturas finas a gruesas, sin embargo, también se encuentran texturas arcillosas con niveles de fertilidad moderada.

6.1.2. Ubicación geográfica de los puntos de muestreo

Durante el muestreo de suelos se toman las coordenadas geográficas con GPS, estas se llevan a coordenadas planas y se ubican con la aplicación Google Earth, luego se realiza el plano con la ubicación de todos los puntos de muestreo de los nueve predios sobre el mapa del Distrito de Riego Asojuncal, obteniendo como resultado el mapa con la ubicación de las áreas de estudio (ver ilustración 7).

Ilustración 7. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo en Distrito de Riego Asojuncal.

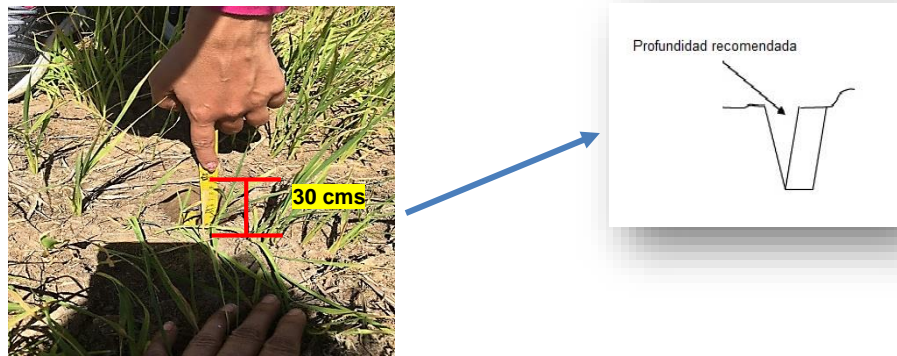


Fuente. Elaboración propia.

6.2. RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

La recolección de las muestras fue realizada en dos días diferentes, se recolectaron muestras el 1 de septiembre del 2018 y posteriormente el 5 de septiembre. El muestreo se realizó en zig-zag, mediante la recolección de 15 submuestras por predio, con una distancia de 20 metros aproximadamente entre cada punto. Cada una de las submuestras fue tomada a una profundidad de 30 cm, en forma de “V” retirando inicialmente con el palín, el material orgánico de la superficie, con el fin de que la muestra no fuera contaminada con ningún tipo de material diferente al suelo (Ilustración 8).

Ilustración 8. Forma de recolección de muestras.



Fuente. Elaboración propia.

Las submuestras se depositan en un balde completamente limpio, allí se realizó la homogenización (Ilustración 9).

Ilustración 9. Homogenización de submuestras de suelo.



Una vez realizada la homogenización de las submuestras, se tomó aproximadamente 1 kg de muestra y se almacenaron en bolsas Ziploc, selladas y herméticas, con el fin de realizar el embalaje correcto para enviar a los laboratorios de análisis seleccionados. Cada una de las bolsas fue rotulada con la información mínima requerida para su identificación, que incluye el nombre del predio, fecha y hora de recolección y coordenadas. Además, se diligenció la cadena de custodia con información más detallada sobre el muestreo.

6.3. TÉCNICA DE ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS

Para la determinación de metales y de las demás propiedades físicas y químicas del suelo se emplearon métodos normalizados y estandarizados. Los laboratorios de análisis seleccionados para la determinación de metales, se encuentran acreditados por el IDEAM y cuentan con un sistema de gestión basado en la NTC-ISO/IEC 17025. Los análisis fueron realizados en los

laboratorios químicos de calidad de aguas y suelos Dr. Calderón y Analquim Ltda, en la ciudad de Bogotá (ver ANEXO D).

Algunas de las propiedades físicas fueron determinadas directamente por los investigadores, en dos laboratorios LAGSA y CONSTRUCSUELOS SUMINISTROS LTDA, como la densidad, el color y el pH. Las propiedades fisicoquímicas adicionales a los metales determinados, fueron Textura, Densidad, Materia orgánica, Color, Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), Carbono orgánico, Nitrógeno y pH. Estas propiedades son consideradas esenciales para conocer el comportamiento de los metales pesados en el suelo.

A continuación, se describen las metodologías utilizadas en la caracterización de los suelos y su relación con el contenido de metales pesados:

Tabla 6. Descripción y correlación de las metodologías de análisis de suelos.

Parámetro	Descripción	Correlación de variables con respecto a la concentración de metales en el suelo
Textura	Determinada por el método de Bouyoucos, el cual consiste en determinar la cantidad de sólidos en suspensión por medio de un hidrómetro.	Los suelos de textura fina proceden generalmente de minerales secundarios que se alteran con facilidad y que son la fuente principal de los metales pesados. Mientras que los de textura gruesa presentan un bajo contenido en metales pesados.
Densidad	Se determinó por medio de un Picnómetro y una balanza analítica.	Presenta una afinidad por ciertos metales (Co, Cu, Mo, Ni, Pb y Zn), permitiendo su disponibilidad, es decir, haciendo que los metales migren más fácilmente a capas más profundas o se mantengan en la solución del suelo.
Carbono Orgánico Total	Walkley-Black.	La composición de la materia orgánica al igual que el pH, tienen efectos significativos en la adsorción de Cd; suelos con altos contenidos de M.O. u
Materia Orgánica	Calculada utilizando dos metodologías diferentes, la primera, consiste en el método de ignición o calcinación. La	

Parámetro	Descripción	Correlación de variables con respecto a la concentración de metales en el suelo
	<p>segunda, por el método de relación matemática, considerándose este de mayor precisión, puesto que por el método de ignición algunos minerales de arcilla pueden perder agua estructural o grupos hidroxilos, debido a las altas temperaturas a las que son sometidas las muestras de suelo, esto genera que la pérdida de agua estructural aumente el total de la pérdida de peso de la muestra lo que conllevaría a una sobreestimación en el contenido de la materia orgánica.</p> <p>En este orden, al haber obtenido los valores de Carbono Orgánico Total (COT) se multiplicó por la constante 1,742 y así se hallaron los valores de materia orgánica (Castro, 1998).</p>	<p>óxidos de hierro adsorben más Cd que los que tienen grandes cantidades de arcillas tipo 2:1, no obstante, presenten alta Capacidad de Intercambio Catiónico. La materia orgánica puede o no permitir mayor movilidad de este en el suelo y al mineralizarse, puede estar disponible para las plantas (Bravo <i>et al.</i>, 2013).</p> <p>La materia orgánica está relacionada con la estructura de los suelos, se relaciona directamente con su fertilidad. La materia orgánica puede llegar a adsorber tan fuertemente algunos metales, como el Cu, que pueden quedar en posición no disponible por las plantas (Larios, 2014).</p>
Nitrógeno	Relación matemática, dividiendo el valor obtenido de la materia orgánica en 20. (Castro, 1998).	No aplica.
Color	Determinado de manera visual con la tabla Munsell (Munsell soil color charts, 1994).	No aplica.
pH	Se realizó por el método de relación agua- suelo 1:1.	El pH es el principal factor de control de disponibilidad de metales para las plantas, puesto que la mayor parte de los metales, tiende a tener mayor disponibilidad en suelos ácidos, debido a que esto permite mejorar la solubilidad de los metales como su absorción por las raíces de las plantas. En el caso del Cromo (Cr), por ejemplo, ocurre que, aunque el pH sea básico su disponibilidad no disminuye.
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	Extracción con AcNH ₄ al 1N.	Es una función del contenido en arcilla y materia orgánica del suelo. Un incremento en la CIC produce un aumento en el tiempo en que estos metales se encuentran disponibles para las plantas dado que aumenta la capacidad del suelo de fijar metales.

Fuente. Elaboración propia (parámetros y descripción).

Roca Fernández, A. (Correlación entre variables).

De esta manera para analizar los resultados de las concentraciones de los metales pesados, sus impactos y consecuencias se realizarán un trabajo articulado partiendo de las referencias bibliográficas y la literatura consultada, de acuerdo con las observaciones efectuadas en campo y las entrevistas realizadas a los encargados de cada uno de los predios.

Es importante mencionar que previo a la determinación de los parámetros físicos y químicos en suelos, se realizó un pre-tratamiento a las muestras recolectadas, con el fin de asegurar resultados correctos y de seguir los protocolos establecidos por las técnicas de análisis. Por lo tanto, antes de iniciar la etapa de análisis de laboratorio, las muestras pasaron por los siguientes procesos:

Secado: Las muestras recolectadas en campo, fueron puestas cada una sobre un papel azúcar o papel kraft y se secaron bajo la sombra a temperatura ambiente en un lugar ventilado.

Trituración: Luego de secas las muestras, son maceradas con un mortero con el fin de eliminar cualquier terrón que haya sido formado por el suelo.

Tamizado: Finalmente se tamiza una cantidad considerable de muestra para todos los análisis a ejecutar.

Cuarteo: Es la preparación de las muestras para los análisis de laboratorio, una vez realizados los tres pasos anteriores, se divide la muestra obtenida en porciones de entre 200 y 300g o en porciones representativas que permita el tamaño requerido por el análisis.

7. RESULTADOS

Se presentan los resultados de la caracterización de suelos en los nueve predios seleccionados aleatoriamente del Distrito de Riego El Juncal, dedicados a la producción intensiva de arroz. Se dividen en pruebas físicas y químicas del suelo respectivamente.

7.1. ANÁLISIS FÍSICOS DE SUELOS

En la tabla 7 y 8 se registran los valores obtenidos de los análisis físicos, realizados a las muestras recolectadas en cada predio del Distrito Asojuncal.

Tabla 7. Resultados de análisis físicos de suelos.

Predios	Ensayo	Textura			Clasificación Textural	Densidad Aparente	Densidad Real
		Arena	Limos	Arcilla		g.cm ⁻³	g.cm ⁻³
		%	%	%			
Villa Milena		56	24	20	FArA	1,48	2,55
La Laguna		48	26	26	FArA	1,39	2,53
El Silencio		28	22	50	Ar	1,44	2,48
Mi Finquita		50	23	27	FArA	1,52	2,50
La Pista		52	18	30	FArA	1,50	2,52
El Lago		44	22	34	FAr	1,51	2,53
Yuventus		40	20	40	FAr	1,42	2,52
Villa Alejandra		70	8	22	FArA	1,51	2,58
Sinaí		62	12	26	FArA	1,43	2,53

Convenciones: FArA Franco arcillo arenoso, FAr Franco arcilloso, Ar arcilloso.

Tabla 8. Determinación de propiedades físicas del suelo.

PREDIO	Materia Orgánica (%)		Color del suelo (Munsell Soil Color Charts 1975)			
	Ignición	Walkley-Black	Seco		Húmedo	
Villa Milena	3,1	1,28	10 YR1/2	Pardo grisáceo muy oscuro	10YR2/1	Negro
La Laguna	2,4	2,20	10 YR3/3	Café oscuro	10YR2/2	Café muy oscuro
El Silencio	6,3	2,43	10 YR3/4	Café oscuro amarillento	10YR3/6	Café oscuro amarillento
Mi Finquita	2,6	1,06	10 YR5/4	Café amarillento	10YR2/1	Negro
La Pista	7,0	3,03	10 YR2/2	Café muy oscuro	10 YR2/1	Negro
El Lago	4,8	1,10	10 YR4/3	Café	10 YR3/3	Café oscuro
Yuventus	3,5	3,01	10 YR2/2	Café muy oscuro	10 YR3/6	Café oscuro amarillento
Villa Alejandra	3,1	1,43	10 YR3/3	Café oscuro	10 YR2/1	Negro
Sinaí	4,8	1,53	10 YR3/3	Café oscuro	10 YR2/2	Café muy oscuro

7.2. ANÁLISIS QUÍMICOS DE SUELOS

El análisis para Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Plomo (Pb), Manganeseo (Mn), Cobre (Cu) y Zinc (Zn) (ver tabla 9), se hizo con el fin de conocer la concentración que existe en los suelos con cultivos de producción intensiva de arroz y verificar si sobrepasan los valores máximos establecidos por referencias internacionales. La metodología utilizada fue EPA 3050B, por la técnica de análisis Espectroscopia de Absorción Atómica.

Tabla 9. Concentración de metales pesados en suelos del Distrito de Riego Asojuncal.

Puntos de muestreo	Parámetros									
	Cadmio (mg/kg)	Cromo (mg/kg)	Plomo (mg/kg)	Manganeseo (mg/kg)	Cobre (mg/kg)	Zinc (mg/kg)	C.I.C.	C.O	N	pH
Villa Milena	<0,6	<18	28	475	12	38	6,03	0,74	0,06	4,68
La Laguna	<0,6	<18	25	58	10	21	9,25	1,27	0,11	6,05
El Silencio	2,4	23	33	127	15	77	13,59	1,41	0,12	4,78
Mi Finquita	2,6	<18	27	385	13	27	7,03	0,62	0,05	5,62

Puntos de muestreo	Parámetros									
	Cadmio (mg/kg)	Cromo (mg/kg)	Plomo (mg/kg)	Manganeso (mg/kg)	Cobre (mg/kg)	Zinc (mg/kg)	C.I.C.	C.O	N	pH
La Pista	2,4	62	38	1452 876	24	77	17,36	1,76	0,15	5,36
El Lago	2,2	<18	20	396	19	54	6,03	0,64	0,06	4,81
Yuventus	2,0	<18	28	39	14	29	12,73	1,74	0,15	5,22
Villa Alejandra	2,8	29	33	84	17	48	6,84	0,83	0,07	4,47
Sinaí	<0,6	<18	37	304	17	31	5,22	0,89	0,08	4,84

7.3. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

- En la tabla 7 se observan los suelos con mayor contenido de arena, entre ellos están Villa Alejandra, Sinaí y Villa Milena, éstos en su mayoría poseen compuestos inorgánicos y bajo contenido de materia orgánica, lo que indica disminución cualitativa y cuantitativa del crecimiento normal de las poblaciones de microorganismos, causando resequeidad en el suelo, aumentando la fragilidad de sus propiedades. Los suelos con alto contenido de arcilla tienen mejor retención de nutrientes y son más ricos en contenido de materia orgánica, como el caso, del Silencio, La Pista y Yuventus (tabla 8), sin embargo, estos también pueden llegar a retener mayor cantidad de metales por adsorción.
- El valor promedio de la densidad aparente para los suelos del Distrito es de 1.53 gr/cm³, siendo este el valor límite para identificar procesos de compactación. Por lo tanto, los resultados obtenidos en este parámetro son considerados bajos.
- La determinación de densidad real es acorde a cada tipo de suelo obtenido, son valores estables, sin alteraciones, puesto que, de acuerdo con la FAO, una densidad real se encuentra alrededor de 2,5 – 2,6.

- De acuerdo con la tabla 8, los suelos del distrito, presentan bajo contenido de materia orgánica, lo cual puede ser atribuido a la intensificación de la actividad agrícola y la falta de rotaciones con otros cultivos.

- En los análisis de los metales, el Cadmio (Cd) presentó el valor más alto para Villa Alejandra con 2.8 mg/kg y los más bajos para Villa Milena, La Laguna y Sinaí con un valor < 0.6 mg/kg, es decir por debajo del límite de cuantificación de lectura del método empleado. El alto contenido de cadmio tiene relación con los valores de pH obtenidos, pues fue Villa Alejandra quien presentó mayor acidificación, debido a que su movilidad depende de factores como el pH y la materia orgánica. La principal fuente de Cd considerada en los suelos agrícolas generalmente son los fertilizantes fosfatados. El cadmio presenta baja afinidad por formas adsorbentes lo que repercute en alta solubilidad y movilidad, produciendo efectos altamente tóxicos en suelos, plantas, microorganismos y seres humanos. En forma natural, el cadmio está asociado con minerales de fósforo y zinc, por esta razón se puede encontrar en fertilizantes o llegar a convertirse en metal bioacumulable a partir de suelos con aplicación continuada de fertilizantes fosfatados o abonos orgánicos procedentes de residuos municipales (Bravo *et al.*, 2013).

- Los valores de Cromo (Cr) son los de menor exactitud, ya que la técnica empleada por el laboratorio presentó un límite de cuantificación de 18 ppm, y los suelos de Asojuncal poseen valores por debajo de este límite. Los metales pesados en exceso pueden llegar a ser perjudiciales para las condiciones naturales del suelo, afectando no solo sus propiedades físicas y químicas, sino también, la actividad de los microorganismos y en cadena otros sin

número de ecosistemas. La mayoría de los herbicidas, fungicidas, insecticidas encontrados, contienen sustancias tóxicas para el medio ambiente y están clasificados toxicológicamente en la categoría III “*moderadamente tóxicos*”.

- En la tabla 9 se resaltó el valor de manganeso (Mn) para el predio *La Pista*, porque es la concentración más alta, siendo esta perjudicial en el suelo para el normal desarrollo de los cultivos. Por este motivo, se decide verificar el análisis, con el fin de corroborar el resultado obtenido. En un segundo análisis se alcanzó igualmente una concentración mayor a los demás predios, esta vez con un valor de 876 ppm.
- La Capacidad de Intercambio Catiónico, se trata en su mayoría de arenas y arcillas, que son aquellas con valores entre 5 y 15meq/100, estas por lo general no retienen todos los nutrientes necesarios, son conocidas como arcillas 1:1, que son como cuarzos y tierras poco fértiles. Es decir, que la CIC, tiene valores según el tipo de suelo, siendo 5meq/100 arenosos, entre 5-15meq/100 francos y entre 15-25meq/100 arcillosos (FINAGRO).
- Los suelos son de medianamente a fuertemente ácidos, debido a que la mayoría de los valores se encuentran inferiores a 5 unidades de pH. De acuerdo con la tabla 10, se tiene que Villa Alejandra se encuentra en el rango de suelo *extremadamente ácido*, lo que indica unas condiciones desfavorables del suelo, mientras que Sinaí, El Lago, El Silencio y Villa Milena se clasifican como un suelo *muy fuertemente ácido*, pero no en extremo. Yuventus y La Pista *son fuertemente ácido*, estos últimos pueden tener efectos como posible toxicidad por presencia de Aluminio (Al) y exceso de Co, Cu, Fe, Mn y Zn, el pH comprendido entre 4,5 y

5,0 unidades, puede inferir deficiencia de Ca, K, N, Mg, Mo, P y S y una actividad microbiana escasa. Mi Finquita y La Laguna poseen suelos *medianamente ácidos*, encontrándose en un intervalo adecuado para la mayoría de los cultivos. Es importante tener en cuenta que estos valores de pH no son constantes a lo largo del año, estos varían por los procesos de saturación e inundación del suelo, los procesos cambiantes de óxido-reducción y principalmente por los aportes nitrogenados en algunas épocas del año. Una gran parte de los suelos ácidos pertenecen a Acrisoles, Alisoles, Podzoles y otros sub grupos.

La acidez de los suelos del Distrito está asociada a los procesos de lixiviación que se presentan por los continuos periodos de riego haciendo que el transporte de las bases intercambiables se dé más allá del alcance de las raíces de las plantas.

Tabla 10. Clasificación del suelo según el nivel de pH.

pH	Clasificación del suelo	Efectos
<4,5	Extremadamente ácido	Condiciones muy desfavorables
4,6 – 5,0	Muy fuertemente ácido	Posible toxicidad por Al y exceso de Co, Cu, Fe, Mn y Zn. Deficiencia de Ca, K, N, Mg, Mo, P y S Actividad bacteriana escasa
5,1 – 5,5	Fuertemente ácido	
5,6 – 6,0	Medianamente ácido	Intervalo adecuado para la mayoría de los cultivos.
6,1 – 6,5	Ligeramente ácido	Máxima disponibilidad de nutrientes
6,6 – 7,3	Neutro	Mínimos efectos tóxicos
7,4 – 7,8	Ligeramente alcalino	Existencia de carbonato cálcico
7,9 – 8,4	Medianamente alcalino	Deficiente asimilación de algunos nutrientes.
8,5 – 9,0	Fuertemente alcalino	Problemas de clorosis
>9,0	Extremadamente alcalino	Baja capacidad de infiltración y lenta permeabilidad. Presencia de carbonato sódico.

Fuente. Bernier, R.

8. CONCLUSIONES

- Los suelos del Distrito de Riego Asojuncal, son en su mayor parte superficiales y pedregosos, correspondiente a una llanura de relieve ligeramente plano. Son suelos que pertenecen a los órdenes Alfisol, Inceptisol y Entisol. Estos suelos presentan apreciables cantidades de arena, gravilla y cascajo en los horizontes superficiales. Químicamente son caracterizados por presentar un pH ácido y bajos contenidos de materia orgánica, con tendencia a niveles altos de Manganeseo (Mn), como pudo observarse en los resultados de la caracterización fisicoquímica realizada. Son de origen sedimentario con textura predominante franco arcillo arenosa (FArA).
- La concentración de los metales evaluados (Pb, Cd, Cr, Mn, Cu y Zn), se encuentra dentro de los valores normales de acuerdo con los niveles de referencia promedios propuestos en el marco legal de diferentes regiones del mundo, a excepción del cadmio (Cd), cuyo límite debe ser inferior al 1,0 mg/kg y de los nueve predios evaluados solo tres cumplen con este criterio. La presencia de un pH bajo en el suelo facilita la transferencia del cadmio a la planta, siendo superior que en las zonas con suelos no contaminados y pH elevado. Cuando las concentraciones de Cadmio en el suelo son altas, puede influir en los procesos de microorganismos del suelo, adhiriéndose fuertemente a la materia orgánica en la cual permanece inmóvil en el suelo y puede ser incorporado por plantas, entrando así a la cadena alimentaria.
- La concentración de Mn para el predio *La Pista* puede ser atribuida a la acidificación excesiva del suelo, porque esto genera una gran liberación de manganeso, aumentando su

solubilidad en la solución suelo. Cabe mencionar que un Manganeseo muy alto puede generar toxicidad en las plantas e influir en el crecimiento de las mismas. Este es fácilmente absorbido por sus raíces.

- Las concentraciones de metales pesados en el suelo, pueden competir con algunos de los nutrientes que las plantas necesitan para su desarrollo, principalmente el nitrógeno y el fósforo, por lo que puede verse afectada la producción del arroz, al presentarse una reducción en el crecimiento y desarrollo normal de las plantas, disminuyendo la concentración de nutrientes en las hojas de las plantas.
- La manipulación inadecuada de los recipientes derivados del uso de agroquímicos, conlleva no solo a la contaminación ambiental, sino también a la alteración paisajística, poniendo en riesgo a los ecosistemas acuáticos, terrestres y aéreos del lugar y a la comunidad que se encuentra alrededor de estos cultivos. Pues, en algunos de los recipientes de herbicidas y fertilizantes utilizados en estos predios, se advierte que son *altamente tóxicos* para aves y *extremadamente tóxicos* para peces, asimismo, advierte evitar la contaminación de fuentes de agua con los desechos o trazas que puedan quedar en los recipientes contenedores y equipos utilizados en su aplicación.

9. RECOMENDACIONES

- Es evidente que el uso excesivo y no controlado de agroquímicos genera riesgos no solo para el medio ambiente sino también a la salud humana, además de afectar la sostenibilidad de los cultivos agrícolas, por lo que se hace necesario la creación e implementación en Colombia de una norma técnica sobre el uso adecuado de estos, las consideraciones para disminuir los efectos para la salud y el ambiente. Por lo tanto, se recomienda continuar con la investigación sobre la presencia de los metales pesados en el suelo a causa del uso de agroquímicos, de manera que se formule un análisis más profundo, con mayor cantidad de muestras y también ensayos de laboratorio, a fin de fortalecer los argumentos dados y formular la posibilidad de definir un marco normativo en Colombia, que permita establecer los límites de concentraciones máximas en metales pesados para el suelo.
- Se recomienda colocar en práctica un programa de capacitación ambiental, con el fin de realizar un manejo adecuado del suelo, para promover una agricultura sostenible, mediante la aplicación de abonos orgánicos y disminución en el uso de los agroquímicos, mediante medidas de control, como la aplicación de Biofertilizantes, Microorganismos solubilizadores del fosforo, Bacterias fijadoras de nitrógeno, Bacterias reductoras del azufre, entre otros.
- Debido a la importancia ambiental de la acumulación de cadmio en el suelo, se han investigado varias técnicas para el manejo de suelos con altos contenidos en cadmio. Estas

técnicas se basan en la realización de lavados en suelos ácidos, o en el aumento del pH a través del encalado.

- Realizar un estudio en relación con las trazas de elementos químicos relacionados con los pesticidas, fungicidas y herbicidas aplicados en las fincas arroceras, que se encuentren presentes en el suelo para evaluar su disponibilidad en el arroz.

ANEXOS

ANEXO A

Ilustración 10. Niveles de referencia propuestos por agencias y diferentes legislaciones en varios países para los metales pesados (mg/kg suelo).

	Cd	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni
Normativa Suiza	-	50	50	200	75	50
IHOBE-País vasco ⁽¹⁾	-	25	45	110	-	40
USEPA-Estados Unidos ⁽²⁾	0,5	25	100	-	130	50
CETESB-Brasil ⁽³⁾	-	30	20	60	40	10
Tabla Holandesa	-	50	85	140	100	30
UE (máximo)	-	140	300	300	-	75
Austria	-	100	100	300	100	100
Canadá	-	100	200	400	75	100
Polonia	-	100	100	300	100	100
Japón	-	125	400	250	-	100
Gran Bretaña	-	100	100	300	50	50
Alemania	-	200	1000	600	200	200
China	0,43	31,7	37,5	117,7	58,9	-
South Hydereabad- India	-	35	20	71	35	-
Holanda, valor referencia	0,8	36	85	140	100	35
Holanda, valor de urgente intervención	12	190	530	720	380	210
Málaga-España	0,5	65	69	132	132	-
Granada-España	-	26	36	76	66	-
Madrid-España	0,84	34	88	109	-	-
Medina del campo Valladolid-España	0,44	9,41	13,78	33,44	16,14	-
Almeira-España ⁽⁴⁾	15,6	578	-	4,63*10 ³	2,35*10 ³	313
Castellon-España ⁽⁵⁾	0,3	31,3	23,4	74	29,7	19,4
Alicante-España ⁽⁶⁾	0,7	28	28	83	36	31
Alicante-España ⁽⁷⁾	0,9	28	28	91	39	37
Murcia-España ⁽⁸⁾	-	19	14	66	69	30

Fuente. Brizuela, J; Jiménez, Y (2012).

Los siguientes valores de referencia de metales pesados en suelos han sido propuestos para la recuperación y protección de suelos agrícolas en diferentes regiones del mundo. Estos valores están asociados a las condiciones naturales para cada tipo de suelo.

ANEXO B

Tabla 11. Valores de referencia para metales pesados en diferentes regiones del mundo (mg/kg).

Ciudad	Pb	Cd	Cu	Zn	Cr	Ni
Holanda	85	0.80	36	140	100	35
Málaga – España	69	0.50	65	132	132	58
Granada – España	36	-	26	76	66	20
Brasil	17	0.5	35.1	59.9	40.2	13.2
Almería –España	-	-	25	394	-	-
Alicante - España	28	0.7	28	83	36	31
Comunidad de Madrid- España	88	0.84	34	109	-	-
Valladolid- España	13.78	0.44	9.41	33.44	16.14	9.81
Tirana- Albania	85.5	0.7	36.3	151	113.7	41.9
China	37.5	0.43	31.7	117.7	58.9	27.5
India	20	-	35	71	35	20
Promedios mundiales en suelos	10-84	0.06-1.1	6- 80	17 - 125	7- 221	4 - 55

Fuente. Rueda *et al.*, 2011.

ANEXO C

Ilustración 11. Agroquímicos empleados en cultivos de arroz del Distrito de Riego Asojuncal.



ANEXO D

Se anexa a este documento una copia de los resultados originales de las determinaciones fisicoquímicas realizadas en laboratorio.

BIBLIOGRAFÍA

AGRONET. 2014. Área, producción y rendimiento nacional por cultivo. Consultado de:

<http://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/default.aspx>

Alcaldía municipal de Palermo. (2012- 2015). Consultado de <http://www.palermo-huila.gov.co/Transparencia/PlaneacionGestionyControl/Plan%20de%20Desarrollo%202012-2015.pdf>

<http://www.palermo-huila.gov.co/Transparencia/PlaneacionGestionyControl/Plan%20de%20Desarrollo%202012-2015.pdf>

Asociación de usuarios del distrito de riego y adecuación de tierras a mediana escala- El Juncal.

Palermo-Huila, Colombia. Consultado de: <http://asojuncal.blogspot.com/>

Becerra A, Junguito R, y Prefetti J, 2014. Desarrollo de la agricultura colombiana. Cuadernos de

Fedesarrollo. N° 48. Marzo de 2014. Consultado de:

https://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/151/CDF_No_48_Marzo_2014.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Bernier, V. R. Técnicas de muestreo de suelo para análisis de fertilidad. INDAP. Chile. 3-7p.

Consultado de: <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR25010.pdf>.

Boluda Hernández, R., Gimeno-García, E., & Andreu Pérez, V. Impacto de la actividad agrícola sobre el aporte de metales pesados en suelos del Parque Natural de la Albufera de València.

Dossiers Agraris, (7), 177-186.

- Bravo, I., Arboleda, C. A., Martín, F. J. 2013. Efecto de la calidad de la materia orgánica asociada con el uso y manejo de suelos en la retención de cadmio, en sistemas altoandinos de Colombia. *Ciencias del suelo. Acta agronómica*. 63(2). 164-174p.
- Brizuela, J. & Jiménez, Y. (2012). Metodologías aplicadas para el establecimiento de los niveles de referencia para metales pesados en la evaluación de la contaminación en suelos. *Avances en Química*, 7 (2), 101-109.
- Castro, H. E. 1998. Fundamentos para el conocimiento y manejo de suelos agrícolas: Manual técnico. Instituto Universitario Juan de Castellanos. Tunja. 360p
- Chica, J., Tirado, Y., Barreto, J. 2016. Indicadores de competitividad del cultivo del arroz en Colombia y Estados Unidos. 33(2): 16-31. doi: <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.163302.49>.
- CIAT. (5 de septiembre de 2010). Producción eco-eficiente del arroz en América Latina. Consultado de https://ciatlibrary.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/2010_Degiovanni-Produccion_ecoeficiente_del_arroz.pdf
- Delince, W., Valdés Carmentate, R., López Morgado, O., Guridi Izquierdo, F., & Balbín Arias, M. I. (2015). Riesgo agroambiental por metales pesados en suelos con Cultivares de *Oryza sativa* L y *Solanum tuberosum* L. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(1), 44-50. Consultado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542015000100006&lng=es&tlng=es.

Del Puerto Rodríguez, A., Suárez Tamayo, S., Palacio Estrada, D. (2014). Efecto de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 52(3) 372-387p. Consultado de <https://www.redalyc.org/pdf/2232/223240764010.pdf>.

Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. 2002. Compactación de suelos y materiales estabilizados. Escuela de Ingeniería Civil. Universidad Nacional del Rosario. 2-6p. Consultado de: http://www.ityac.com.ar/Files/A1_Compactacion_de_Suelos.pdf

FAO/WHO. (1993). Joint FAO/WHO Food Standards programme, Codex Alimentarius Commission, 20th Session, Geneva June - July 1993.

Fassbender, H., Bornemisza, E. (1987). Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. IICA. San José, C.R. 2a Ed. 420 p.

FINAGRO. La importancia de conocer la capacidad de intercambio catiónico del suelo. Consultado de: <https://www.finagro.com.co/noticias/la-importancia-de-conocer-la-capacidad-de-intercambio-cati%C3%B3nico-del-suelo>

Galán, E; Romero, A. (2008). Contaminación de suelos por metales pesados. Universidad de Sevilla. p 48-68.

Guía de muestreo. Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC. Consultado de <https://www.igac.gov.co/sites/igac.gov.co/files/guiademuestreo.pdf>

Kabata-Pendias, A. (2010). Trace elements in soils and plants. CRC press.

Larios, B. M., 2014. Niveles de Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn en los suelos de ribera de la cuenca del rio Turia. Universidad Pública de Navarra. Barcelona. 18-20p.

Mohammad, H. S. Hernández, S. Guerrero, S. 2009. Efecto de los plaguicidas en pequeños mamíferos: Implicaciones de sustentabilidad. Cultura Científica y tecnológica. 30(6). 5-16.

Munsell soil color charts. 1994. Little Britain Road. New Windsor. Agriculture Handbook.

Nicholson, F. A; Smith, S.R; Alloway, B.J; Carlton-Smith,C; Chambers, B.J. (2003). An inventory of heavy metals inputs to agricultural soil in England and Wales. Science of the Total Environment. p. 205-219.

(OMS) Organización Mundial de la Salud. 2017. Respuesta mundial para el control de vectores. Consultado de: https://www.who.int/malaria/areas/vector_control/Draft-WHO-GVCR-2017-2030-esp.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Propiedades físicas del suelo. Consultado de <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Propiedades químicas del suelo. Consultado de <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2017. Mapa de Carbono Orgánico del Suelo. Consultado de <http://www.fao.org/3/i8195es/I8195ES.pdf>

Pérez, L., Moreno, A. M., & González, J. (2004). Índices de acumulación de metales pesados en granos y hojas de trigo. *Schironia*, 3, 5-9

Roca Fernández, A.I. Contaminación de suelos por metales pesados. Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo. INGACAL. Xunta de Galicia. Consultado de: http://www.infoagro.com/abonos/contaminacion_suelos_metales_pesados.htm

Rueda Saa, G., Rodríguez Victoria, J., & Madriñán Molina, R. (2011). Metodologías para establecer valores de referencia de metales pesados en suelos agrícolas: Perspectivas para Colombia. *Acta Agronómica*, 60(3), 203-218.

Torrente, A. (2018). Impactos generados al ambiente y la salud humana por el uso de agroquímicos implementados en el cultivo de arroz (*oryza sativa*). Universidad Surcolombiana, Neiva.