

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS NIVELES DE CADMIO EN SUELO *Aquic
Dystropepts, Fluventic Dystropepts* Y UNA PRADERA CON PASTURA EN REPOSO EN LA
VEREDA RINCÓN DE POMPEYA, VILLAVICENCIO, META.



PAULA ANDREA SILVA OROZCO



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2019

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS NIVELES DE CADMIO EN SUELO *Aquic
Dystropepts, Fluventic Dystropepts* Y UNA PRADERA CON PASTURA EN REPOSO EN LA
VEREDA RINCÓN DE POMPEYA, VILLAVICENCIO, META.

PAULA ANDREA SILVA OROZCO

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

Asesor

RAFAEL ENRIQUE CARPINTERO BECERRA

Ingeniero Agrícola

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2019

Autoridades Académicas

P. JOSÉ GABRIEL MESA ANGULO, O.P.

Rector General

P. EDUARDO GONZÁLEZ GIL, O.P.

Vicerrector Académico General

P. JOSÉ ANTONIO BALAGUERA CEPEDA, O.P.

Rector Sede Villavicencio

P. RODRIGO GARCÍA JARA, O.P.

Vicerrector Académico General

Mg. JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN

Secretaria de División Sede Villavicencio

Mg. YESICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decana Facultad de Ingeniería Ambiental

Agradecimientos

Culminar esta etapa de la vida, trae consigo bellos recuerdos, gracias con todo el corazón a mis padres y demás familiares por acompañarme en este camino, agradezco a Dios Padre Celestial por permitirme conocer personas maravillosas de las cuales me llevo enseñanzas, consejos, experiencias buenas y no tan buenas que han permitido forjar mi carácter para la vida profesional que empezaré a ejercer. Agradezco a mi alma máter la Universidad Santo Tomás por convertirse en ese hogar donde pase largas horas compartiendo con excelentes docentes que atenían a mis consultas, compañeros y grandes amigos, muchas GRACIAS a la Decana de la Facultad la Ingeniera Natalia Mosquera Beltrán por su apoyo, consejos, jalones de orejas y orientación cuando las necesite.

Al Ingeniero Rafael Carpintero, director de esta investigación, gracias por la dedicación, las asesorías que me ayudaron a enfocarme cuando me desviaba del camino, muchas gracias por brindarme sus conocimientos y contarme las experiencias laborales que ha vivido; porque contribuyen a mi formación como la Ingeniera Ambiental que seré. Es un excelente profesional y le agradezco enormemente por su compromiso, supervisión continua y la confianza que deposito en mí. También al Ingeniero Sergio Parra, Codirector de esta investigación, un agradecimiento especial por permitirme contar con su apoyo incondicional, consejos, orientación e interés en este proyecto.

Agradezco a la Ingeniera Liliana Quevedo por su acompañamiento en la creación y ejecución de este proyecto, gracias por depositar su confianza en mí, gracias por las palabras de aliento, los consejos, apoyo, es un gran ejemplo de ser humano. Y finalmente un agradecimiento a los agricultores Wilson Granados que, en paz descanse, por permitirme contar con su apoyo e ingreso al sistema productor de arroz y al señor Raúl Gutiérrez quien me permitió llevar acabo la recolección de muestras de suelo en la finca para poder realizar la comparación y llevar acabo la finalización de este proyecto de grado.

Contenido

Resumen.....	9
Abstract.....	10
Introducción	11
Capítulo I	13
Planteamiento del Problema	13
Hipótesis.....	16
Objetivos	17
Objetivo General	17
Objetivos Específicos.....	17
Justificación.....	18
Alcance	20
Capítulo II.....	23
Antecedentes	23
Capítulo III	28
Marco Teórico	28
Marco Conceptual	29
Marco Legal.....	36
Capítulo IV	39
Procesamiento Metodológico.....	39
FASE 1. Zonificación y caracterización de la zona de estudio.....	40
FASE 2: Determinación de concentraciones y comparación con la normatividad	43
FASE 3: Análisis integral del nivel de cadmio disponible en el suelo.....	50
Capítulo V.....	52
Resultados y Análisis.....	52
FASE 1. Zonificación y caracterización de la zona de estudio.....	52
FASE 2: Determinación de concentraciones y comparación con la normatividad	56
FASE 3: Análisis integral del nivel de cadmio disponible en el suelo.....	64

Discusión	68
Conclusiones	69
Recomendaciones	70
Bibliografía	71
Anexos	82

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Coordenadas Geográficas	20
Tabla 2. Rangos Correlación de Spearman	35
Tabla 3. Marco Legal Normativo.....	36
Tabla 4. Visitas de campo.	41
Tabla 5. Clasificación de las variables y el contaminante.	46
Tabla 6. Límite máximo permisible de Cd disponible en Suelo.....	50
Tabla 7. Valores máximos permisibles en Cd foliar.....	50
Tabla 8. Resultados de laboratorio predio "Entre Caños".	56
Tabla 9. Resultados de cadmio foliar.....	57
Tabla 10. Resultados de laboratorio predio "El Castaño".....	57
Tabla 11. Promedio, mínimo y máximo "Entre Caños".....	59
Tabla 12. Promedio, mínimo y máximo "El Castaño".....	59
Tabla 13. Correlación de Spearman para el predio "Entre Caños"	61
Tabla 14 Correlación de Spearman predio "El Castaño"	62

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Mapa Base. Elaboración a partir de ArcGIS 10.4	20
Figura 2. Visualización del lote, finca “Entre Caños” con siembra de cultivo de arroz.....	21
Figura 3. Visualización del lote, finca “El Castaño”.	21
Figura 4. Flujograma metodológico.....	39
Figura 5. Similitud Muestreo Aleatorio Estratificado finca “Entre Caños”.	43
Figura 6. Similitud Muestreo Aleatorio Estratificado finca “Entre Caños”.	44
Figura 7. Finalización del ciclo (110 días) y corte del cultivo de arroz.	45
Figura 8. Recolección muestra de arroz finca “Entre Caños”..	45
Figura 9. Descascarar semilla mecánicamente en Semillano..	45
Figura 10. Método Potenciometrico aplicado al suelo..	47
Figura 11. Método Walkley-Black..	48
Figura 12. Resultados de laboratorio comportamiento histórico de cationes "Entre Caños".	55
Figura 13. Comportamiento histórico de cationes "Entre Caños"..	55
Figura 14. Promedio, mínimos y máximos "Entre Caños"..	58
Figura 15. Promedios, máximos y mínimos "El Castaño"..	60
Figura 16 Matriz de diagramas de dispersión. Finca "Entre Caños"	61
Figura 17 Matriz de gráficos de dispersión. Finca "El Castaño"	63
Figura 18 Hotspots del nivel de cadmio en la finca "El Castaño"	66
Figura 19 Hotspots del nivel de cadmio en la finca "Entre Caños",	67

Resumen

Se analizaron los factores que influyen en el nivel de cadmio disponible en el suelo de los predios “Entre Caños” y “El Castaño”, donde hay cultivos de arroz y un pastizal respectivamente. Los predios hacen parte de la vereda Rincón de Pompeya en Villavicencio-Meta. A partir de muestreo en campo, entrevistas semiestructuradas y Sistemas de Información Geográfica -SIG se realizó la caracterización, zonificación y análisis de los puntos con mayor concentración de cadmio en suelo. Se encontró que el suelo posee concentraciones de cadmio menores a 0,1 mg/kg que es el límite máximo permisible del Real Decreto 1310 de 90, legislación española, pues en Colombia no existe legislación específica para este contaminante en suelo. Por otro lado, los granos de arroz poseen una concentración del metal pesado hasta 7 veces mayor que la del suelo, superando los límites máximos permisibles exigidos por el Ministerio de Salud de Colombia por medio de la Resolución 4506 de 2013, por tanto, se requiere iniciar plan de contingencia por parte de Fedearroz para prevenir el consumo del producto contaminado y así mismo, el análisis de otros metales pesados con el ánimo de garantizar la inocuidad del producto para la salud humana y ambiental.

Palabras Clave: Cadmio en suelo, cultivo de arroz, pastizal, SIG, contaminación.

Abstract

The factors influencing the level of cadmium available in the soil of the "Entre Caños" and "El Castaño" properties, where there are rice crops and a pasture respectively, were analyzed. The grounds are part of the Rincón de Pompeya sidewalk in Villavicencio-Meta. From field sampling, semi-structured interviews and Geographic Information Systems -GIS, the characterization, zoning and analysis of the points with the highest concentration of cadmium in soil was carried out. It was found that the soil has cadmium concentrations less than 0.1 mg/kg which is the maximum permissible limit of Royal Decree 1310 of 90, Spanish legislation, because in Colombia there is no specific legislation for this pollutant in soil. On the other hand, rice grains have a concentration of heavy metal up to 7 times higher than that of soil, exceeding the permissible maximum limits required by the Colombian Ministry of Health through Resolution 4506 of 2013, therefore, it is necessary to initiate contingency plan by Fedearroz to prevent the consumption of the contaminated product and also, the analysis of other heavy metals in order to ensure the safety of the product for human and environmental health.

Keywords: Cadmium in soil, rice cultivation, grassland, GIS, pollution.

Introducción

La sociedad actual ha provocado cambios sobre el medio ambiente, diversas actividades como la agricultura llevan a cabo la explotación de recursos naturales como el suelo, ejerciendo sin duda una presión clara sobre todos los ecosistemas con los que entran en contacto directo o indirecto (aire, agua, suelo) (García, Moreno, Hernández , & Polo, 2002). En esta investigación el enfoque principal es la superficie terrestre, el suelo es la parte fundamental para llevar a cabo un cultivo, ya que está compuesto por el material orgánico y mineral que cubre la mayoría de la corteza terrestre; contiene materia viva y sirve de soporte para la vegetación en campo abierto y en lugares transformados por la actividad humana (Ramírez, 1997).

La modernización de la agricultura ha generado cambios radicales en las prácticas agrícolas por la implementación de organismos genéticamente modificados (OGM), sistemas de riego, uso de maquinaria agrícola y el uso masivo de fertilizantes de origen químico y pesticidas (Ceccon, 2008). Es común no identificar a simple vista la contaminación causada por las malas prácticas en la agricultura, pues suele ser lenta e invisible a los ojos humanos al presentarse en el subsuelo, tal como es el caso de la contaminación por fertilización excesiva en el ciclo del cultivo de arroz, pues se da el traspaso de los contaminantes desde el suelo hacia la planta y finalmente, llega al consumidor (Avellato, 2001).

La acumulación de estos elementos tóxicos como metales pesados deterioran la calidad del suelo al alterar sus propiedades químicas (los nutrientes y pH), físicas (textura, permeabilidad, retención de agua y densidad) y biológicas (hongos y bacterias) (Carles, 2016), por consiguiente, la contaminación en el suelo es un problema ambiental de gran importancia. Hoy en día es uno de los temas ambientales más abordados.

Los metales pesados se consideran unos de los contaminantes más tóxicos en el ambiente por tener efectos nocivos a nivel de toda la cadena trófica, en especial el cadmio (Cd), cromo (Cr) y

mercurio (Hg); son relevantes debido a su persistencia y toxicidad (Beltrán Pineda & Gomez Rodríguez , 2016), puesto que actúan totalmente diferente a la mayoría de los contaminantes orgánicos, teniendo en cuenta que estos elementos inorgánicos no son biodegradables química ni biológicamente (Campos & Hernando, 1990). Esta investigación tiene el objetivo de comparar los niveles de cadmio en el suelo de dos predios con diferente actividad productiva con el fin de generar conocimiento sobre la concentración de cadmio tanto en el suelo para cultivo de arroz, como para el suelo con pastizal de esta vereda, pues según investigaciones recientes, el uso de herbicidas y fungicidas en los cultivos de arroz contamina tanto el suelo como el cultivo con metales pesados como el cadmio y el arsénico (Perera et al., 2016), además, se espera verificar si los suelos aledaños en reposo están siendo contaminados por las actividades agrícolas. Para lograrlo, se realizan muestreos estratificados en ambos predios, posteriormente se analizan los resultados con respecto al contexto cultural y espacial para determinar los factores que influyen en la contaminación.

En este orden de ideas, se espera que los resultados generados en esta investigación sirvan de insumo para los tomadores de decisión con el ánimo de que implementen programas de educación ambiental para los agricultores, además de acompañamiento para la implementación de Buenas Prácticas Agrícolas-BPA, con el fin de que se controle la contaminación en el recurso suelo, lo que provocará la mejora de los servicios ecosistémicos ofertados, el aumento de la productividad en los cultivos, aumento de ingresos por producción y, por ende, la mejora de la calidad de vida de la comunidad dependiente de este recurso.

Capítulo I

Planteamiento del Problema

El suelo es un cuerpo natural y dinámico que cambia con el tiempo y el espacio. Es soporte de una gran variedad de organismos, entre ellos la vegetación, característica relevante, pues de ella dependen las actividades agrícolas, fuente de alimento para la humanidad. Para su estudio puede considerarse como un sistema abierto que presenta intercambios de materia y energía con el medio, en donde se desarrollan diversos procesos físicos, químicos y biológicos, responsables de su morfología (forma) y propiedades (Bautista Zúñiga, 1999). Las áreas destinadas a la producción agrícola en América latina y el Caribe han tenido un aumento con respecto a que tienen las reservas de tierra más cultivables del mundo, este impacto de crecimiento demográfico ha elevado el consumo de alimentos, por tanto, la agricultura se ha intensificado y de la mano el uso de los recursos naturales en general. En particular, causando procesos de degradación de los suelos por la contaminación (PNUMA, 2003) de áreas destinadas para la producción agrícola presentando un impacto negativo, debido al elevado uso de productos agroquímicos que causan pérdida de los nutrientes del suelo, pérdida de la capa vegetal entre otros.

En los Llanos Orientales de Colombia, el arroz es uno de los principales cultivos, ocupa el segundo lugar por área sembrada (Fedearroz, 2011). Sin embargo, en un estudio realizado por Fedearroz, se encontró que las condiciones agroecológicas de los Llanos Orientales establecen que la zona cuenta con suelos poco favorables para el desarrollo de la actividad. A pesar de esto, los agricultores han implementado correctivos y técnicas para adecuar el suelo a las condiciones necesarias para producir este cultivo en la región (Gutiérrez Alemán, 2011); entre las técnicas implementadas se encuentran la aplicación indiscriminada de herbicidas y fungicidas, además del uso intensivo de maquinaria agrícola sin calibrar para labores de labranza generando fuertes impactos en el suelo (Fna, 2015), tales como la pérdida de nutrientes; contaminación del suelo; compactación del suelo, disminuyendo la fertilidad del mismo; erosión y demás, afectando la calidad de los servicios ecosistémicos ofertados por el recurso.

En el Departamento del Meta, se ha intensificado la siembra de producción del grano de arroz, el municipio de Villavicencio cuenta con la vereda Rincón de Pompeya que aporta a la economía de la región dada su actividad agrícola; desde hace más de cuarenta años se siembra arroz, por la condición pluviométrica que tiene la vereda. Debido a esta condición de lluvias, modificación de suelo y prácticas agrícolas inadecuadas, actualmente se presenta un impacto ambiental negativo que afecta directamente la sostenibilidad de la oferta natural del suelo (Pinzón Arciniegas & Ortiz Buitrago, 2011). En la vereda Rincón de Pompeya hay pocos predios con pastizales en reposo, que abarquen gran diversidad, debido a que los terrenos han sido intervenidos por los productores de la zona para seguir ampliando la siembra del cultivo de arroz, cultivos de maíz y soya, afectando los ecosistemas estratégicos como morichales, ríos, caños, bosques, agroecosistemas y humedales presentes en la vereda, causando un desequilibrio natural por mal manejo del recurso suelo, que ha conllevando a la pérdida de la flora, fauna y deterioro del paisaje (Juste, 2019).

La toxicidad en el suelo es causada por acumulación retenida de agroquímicos, muchos de estos son perjudiciales porque contienen metales pesados que afectan el suelo, el cultivo y por ende a la salud humana, estos elementos traza son incorporados a las tierras por actividades antropogénicas y su carácter no biodegradable contamina el suelo (Mahler, 2004), la práctica permanente de estas sustancias tóxicas empeora el suelo deteriorándolo progresivamente. La actividad de producción de arroz, con los métodos que implementan para el cuidado de plagas va contaminando el terreno debido a que se vierte anualmente toneladas de fertilizantes y plaguicidas (SL Extertonic, 2015).

La problemática ambiental causada por los metales pesados se debe a que presentan como característica común su elevada densidad. Esta denominación tiene connotaciones de contaminación y toxicidad, sin embargo, la presencia de metales pesados como el analito Cd, puede llegar a limitar el crecimiento vegetal y/o ser tóxicos para las plantas, animales y seres humanos. Los principales peligros ambientales de la transferencia de metales pesados desde el suelo a las plantas son la entrada de los metales en la cadena trófica, la cosecha por su fitotoxicidad y la absorción de metales desde el suelo por plantas tolerantes, que pueden producir efectos tóxicos en el grano de arroz (Yarasca Bejarano, 2015). La contaminación del suelo es hoy en día uno de los temas ambientales para la sociedad, la caracterización, evaluación y remediación del suelo contaminado es uno de los principales retos ambientales (Galán huertos & Romero Baena , 2008).

La contaminación causada al suelo por el analito cadmio disponible, actualmente presenta un auge de estudio en los cultivos que tengan que ver con producción alimentaria, generando preocupación ambiental debido a su movilidad y facilidad con que es retenido en el suelo y absorbido por las plantas, mientras mayor sea el pH del suelo, mayor será la conservación del cadmio disponible (Charter, Tabatabai, & Schafer, 2008), en la vereda Rincón de Pompeya se arriendan los predios de las fincas para llevar a cabo la cosecha del cultivo de arroz, lo que eventualmente genera que muchos de los agricultores de la zona no tengan sentido de pertenencia con la demás población y efectúen practicas poco amigables con el suelo generando afectación al medio ambiente, lo que evidencia que prima el beneficio económico sobre el ambiental.

Evidenciando este escenario, es necesario el desarrollo de investigaciones que permitan disminuir la brecha de desconocimiento sobre la relación entre las variables ambientales y la presencia y distribución de metales pesados, para que posteriormente, sea posible establecer estrategias de control y remediación que permitan disminuir la concentración de estos metales tóxicos que pueden representar problemas de salud pública, ambientales y económicos (Reyes, 2016), razón por la cual, se generó una comparación de suelo con diferente uso para la investigación del analito traza. Se realizó una comparación de las mediciones con los parámetros permisibles según la norma nacional e internacional para determinar el contenido de cadmio disponible en los suelos, resaltar la calidad e importancia de este recurso natural y comparar los resultados con el Codex Alimentarius, normas alimentarias sobre la Aplicación de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias de la OMC que contribuyen a la inocuidad, la calidad y la equidad en el comercio internacional de alimentos.

Con base en lo anterior la presente investigación se desarrolla con la finalidad de responder a la formulación: ¿Los agroquímicos usados en la nutrición, control de enfermedades y plagas del cultivo de arroz han contaminado con cadmio disponible directa o indirectamente tanto el suelo de la finca “Entre Caños”, predio con cultivo de arroz, como el de la finca “El Castaño”, predio con pastizal en reposo?

Hipótesis

El presente estudio realizado surge de la siguiente hipótesis:

Los metales pesados como el cadmio disponible (Cd) se encuentran en los herbicidas y pesticidas empleados en el cultivo del arroz, donde este se concentra en el suelo. Aun así, en parcelas aledañas sin actividad agropecuaria pueden llegar a presentarse concentraciones bajas del contaminante en el suelo por efecto de escorrentía, percolación o arrastre. Si la hipótesis es correcta, se espera que Fedearroz realice estudios específicos en un área de cobertura mayor con el fin de detectar puntos de concentración elevada que supere los límites máximos permisibles establecidos por la autoridad ambiental y así mismo, genere programas de educación ambiental para los agricultores con el fin de generar conciencia ambiental y se controle el uso desmedido de herbicidas y pesticidas, para preservar las condiciones del suelo y continuar realizando actividades agrícolas sin poner en riesgo la salud de productores y consumidores. Por otro lado, realizar análisis de cadmio disponible en los granos de arroz con el fin de identificar los niveles de concentración y los efectos que se podrían generar en la salud de los consumidores, como base para ejecutar un plan de contingencia ante la posible contaminación del producto por el metal pesado.

Objetivos

Objetivo General

Realizar un análisis comparativo de la concentración de Cadmio (Cd) en los predios “Entre Caños” donde el uso del suelo es de siembra de arroz y “El Castaño” un predio en reposo por más de 25 años con pasturas, en la vereda Rincón de Pompeya, en el municipio de Villavicencio – Meta.

Objetivos Específicos

- Realizar la zonificación y caracterización de los predios: “Entre Caños” y “El Castaño” mediante sistemas de información geográfica.
- Determinar la concentración de Cadmio (Cd) en el suelo de los predios “Entre Caños” y “El Castaño” para evaluar las condiciones de calidad del suelo frente a la normatividad nacional e internacional.
- Analizar el nivel de Cadmio (Cd) presente en los suelos según la zonificación y caracterización de los suelos.

Justificación

La contaminación ambiental se posiciona como uno de los más importantes problemas que afectan a la sociedad del siglo XXI. La pérdida de calidad del aire, del recurso hídrico y de suelos disponibles para actividades agrícolas se ha incrementado exponencialmente (Sigg *et al*, 2006). El suelo es un componente vital del ambiente natural. El MinAmbiente (2016) expone que la disponibilidad del recurso suelo es limitada y se encuentra constituido por minerales, aire, agua, materia orgánica, macro, meso y microorganismos que desempeñan procesos fundamentales de tipo biótico y abiótico, cumpliendo funciones indispensables para la sociedad y el planeta.

Este recurso es indispensable y determinante para la estructura y el funcionamiento de los ciclos del agua, del aire y de los nutrientes, así como para la biodiversidad. Esto en razón a que el suelo es parte esencial de los ciclos biogeoquímicos, en los cuales hay distribución, transporte, almacenamiento y transformación de materiales y energía necesarios para la vida en el planeta (Martin, 1998), es igualmente fundamental para la tierra, el territorio y las culturas; da soporte a la vida y a las actividades humanas permitiendo garantizar los derechos ambientales de las generaciones presentes y futuras. Sin embargo, el suelo se puede deteriorar y luego que esto ocurre, su recuperación es difícil, costosa, toma mucho tiempo y en algunos casos es imposible volver al estado inicial (MinAmbiente, 2016).

Aunque el suelo es un recurso que permite sostener el desarrollo de cultivos necesarios para la vida, sólo recientemente se ha reconocido su susceptibilidad a la degradación y consecuente disminución de la productividad de cosechas. De acuerdo con esto, muchas de las regiones colombianas están creciendo de manera desordenada, con lo que se causa un gran impacto al medio ambiente, debido al desarrollo no planificado ni sostenible de sus actividades productivas (Orozco, 2011). El recurso suelo tiene la condición de ser acumulador de metales traza como el cadmio, además de la biodisponibilidad del contaminante para ser transferido a las plantas cultivadas en estos suelos. Es importante resaltar el riesgo que significa para la salud humana, pues la contaminación de este analito en el suelo se transfiere al grano de arroz que es consumido por la

humanidad, incluso en condiciones de contaminación moderada a baja, el cultivo y el suelo corren un gran riesgo porque los dos son de gran importancia en la entrada de la cadena trófica (Gorbunov, y otros, 2015). Por la alta demanda que tiene el sector arrocero, los agricultores solo tienen mentalizado luchar contra las plagas que se propagan en el cultivo para alcanzar el beneficio económico que este les trae, es por esto que, sin importar los daños que se generen en el suelo por la inadecuada aplicación de agroquímicos, intensifican las dosis con el fin de “prevenir” futuras plagas que pongan en riesgo la inversión económica realizada en la implementación del cultivo.

Por su parte, 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. Es el caso del analito cadmio, este puede llegar a tener una vida media en el suelo de 310 a 1.500 años, respectivamente, y su concentración está influenciada por el tipo de suelo y la movilidad relativa en función de las características fisicoquímicas, el clima y la topografía (Alloway , 2012). En relación con la toxicidad, los metales pesados pueden ser absorbidos por las raíces de los cultivos o lixiviados hasta los acuíferos, causar así la contaminación de las aguas subterráneas, y de esta forma ser tóxicos para las plantas, los animales y los humanos, a través de la cadena alimentaria (Granero & Domingo, 2002). De acuerdo con las consideraciones anteriores, y teniendo en cuenta que la agricultura en el presente siglo debe responder por la sostenibilidad de la cadena alimentaria y garantizar que las tecnologías de producción no degraden el ambiente y cumplan con los requerimientos ambientales (Dach & Starmans, 2005). El proyecto tiene como objetivo realizar un análisis comparativo de los niveles de cadmio disponible en un suelo con diferentes usos de la vereda Rincón de Pompeya, Villavicencio - Meta; lo que contribuye a satisfacer la necesidad de desarrollar investigaciones que permitan disminuir la brecha de desconocimiento sobre la relación entre las variables ambientales, la presencia y distribución de metales pesados, para que posteriormente, sea posible establecer estrategias de control y remediación que permitan disminuir la concentración de estos metales tóxicos que pueden representar problemas de salud pública, ambientales y económicos (Reyes, 2016).

Alcance

La ejecución de esta investigación se desarrolló durante 8 meses, iniciando en agosto del 2018 y finalizando en marzo del 2019, se realizaron 9 visitas de un día cada una para reconocimiento, levantamiento de información primaria como toma de muestras de suelo y entrevistas semiestructuradas a los asistentes técnicos y comunidad de la vereda. Dentro del área rural de la vereda Rincón de Pompeya en dos predios con utilización de suelos con uso diferente: “Entre Caños” y “El Castaño” (Ver Figura 1). Están ubicados en las siguientes coordenadas geográficas (Ver Tabla 1):

Tabla 1. Coordenadas Geográficas

Entre Caños		El Castaño	
Latitud 4° 0'53.61"N	longitud 73°21'10.25"O	latitud 4° 0'52.69"N	longitud 73°21'9.58"O

Nota: Coordenadas geográficas de las fincas “Entre Caños” y “El Castaño” tomadas con GPS Submétrico. Adaptado por P. Silva, 2019.



Figura 1. Mapa Base. Elaboración a partir de ArcGIS 10.4. Adaptado por P. Silva, 2019.

“Entre Caños” (Ver Figura 2) ha sido intervenida con prácticas agrícolas para producir arroz. Tiene un área total de 9064 m² (0,91 ha), las cuales están totalmente activas para llevar a cabo la producción del cultivo de arroz, durante el primer semestre del año. El suelo es *Aquic dystropepts*, *fluventic dystropepts* (IGAC, 2014). Este predio se encuentra en arriendo y presenta cultivos rotacionales en los dos semestres del año, siendo el primer semestre para arroz y el segundo para soya y maíz. Por otro lado, “El Castaño” (Ver Figura 3) es una pradera en reposo por más de 25 años con un área de 6500m² (0,65 ha).



Figura 2. Visualización del lote, finca “Entre Caños”. Adaptado por P. Silva 2019.

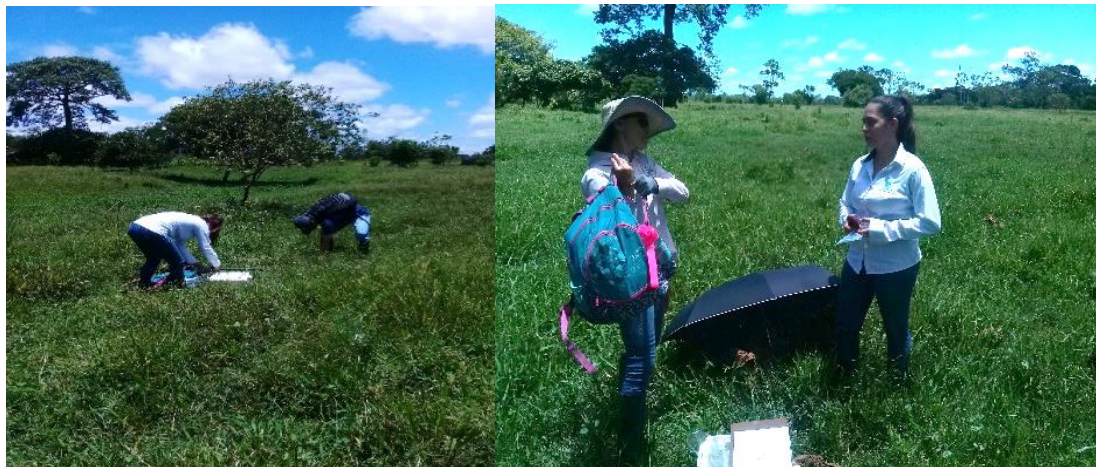


Figura 3. Visualización del lote, finca “El Castaño”. Adaptado por P. Silva 2019.

La vereda Rincón de Pompeya, en la cual se encuentran los dos predios en estudio hace parte del corregimiento N° 4, al sur oriente del casco urbano de Villavicencio. Bordea en dirección al oriente la cuenca del río Guayuriba, siendo este límite la ciudad con los municipios de Acacías y San Carlos de Guaroa. En el oriente se encuentran localizadas las veredas de Puerto Tembleque y Puerto Colombia, las cuales limitan con Puerto López. La ubicación política se detalla a continuación (Alcaldía de Villavicencio, 2009):

Sur: Río Guayuriba, municipios Acacías y San Carlos de Guaroa

Norte: Carretera Villavicencio – Puerto López.

Oriente: Puerto López

Occidente: Carretera Villavicencio – Acacías.

En la vereda la topografía tiene a ser de tipo planicie más está formada por aluviones de los ríos Guayuriba y Negrito. La temperatura media es de 25°C, típico del clima cálido; pertenece al bosque tropical húmedo del piedemonte. En adición, tiene precipitaciones de hasta 3.000 mm al año.

Capítulo II

Antecedentes

El suelo es un recurso de primer orden, dado la gran importancia que abarca como soporte a la producción agrícola, tiene que ser preservado ya que es el sostén de la actividad humana y de la vida en el planeta. La preocupación de este recurso natural, por parte de organismos internacionales se remonta a 30 años atrás. Uno de los inicios es la Carta Europea del Suelo (Comité de Ministros del Consejo de Europa, mayo de 1972) destaca que el suelo es uno de los activos más preciados de la humanidad, ya que posibilita la vida del hombre, la flora y la fauna sobre la tierra y se considera a éste como un recurso limitado y fácilmente destructible que debe ser protegido contra la erosión y la contaminación. La Conferencia Europea de Ordenación del Territorio (CEMAT) resumió en 1988 la importancia del suelo en una resolución con el título de “El Suelo fundamento y límite de nuestro desarrollo”, definiendo las funciones naturales del suelo y la necesidad de compatibilizar el desarrollo con la conservación del suelo (Madrid, 2001 – 2006).

La FAO, mediante un resumen técnico preparado por un grupo de investigadores intergubernamental del suelo para el año 2016, crearon un documento informativo sobre el “Estado mundial del recurso suelo (EMRS)”. Este informe enmarca los efectos de contaminación al recurso natural hablado, uno de ellos es la alteración por metales pesados. En muchos países existe una preocupación significativa de la sociedad civil por los efectos en la salud debidos a la exposición a elementos trazas (también llamados metales pesados) y a contaminantes orgánicos en el suelo. El incremento de insumos de elementos traza al suelo ha dado lugar a una creciente preocupación mundial por el largo legado de la disposición de residuos tóxicos y la acumulación de metales en suelos deparan grandes desafíos para el uso y reclamación de tierras contaminadas.

La contaminación del suelo por el metaloide Cadmio (Cd) es ampliamente observada nacional e internacionalmente debido a la rápida urbanización, industrialización y la agricultura intensiva. La acción para reducir esta contaminación es urgentemente necesaria, especialmente en suelos

cultivados con arroz y en los granos de arroz que producen (Montanarella, Pennock, & McKenzie, 2016). Mediante este mismo objetivo de reducir esta problemática de los metales traza en el suelo se han realizado investigaciones y estudios para reducir y mitigar la contaminación que tiene el analito cadmio disponible sobre la corteza terrestre.

Un caso notable, es una investigación que tuvo desarrollo en Argentina para el año 2001, en donde Avellato determina que el empleo de agroquímicos en la agricultura es el método más común para el control de plagas y uno de los principales factores que ha permitido alcanzar los actuales altos rendimientos en la producción agropecuaria, pero que al exceder su uso, pueden generar la degradación del suelo, por consiguiente, tanto los productos agroquímicos como sus envases vacíos pueden ser muy dañinos para el hombre, los animales y el ambiente si no se los aplica en dosis adecuadas, se les manipula en forma correcta y se almacenan en forma segura (Avellato, 2001).

Por otro lado, el proyecto realizado por Sione (2012) estudiante de la Universidad de Coruña de España presento una “Evaluación del impacto del sistema de producción de arroz sobre el suelo” en donde recalca que el cultivo de arroz presenta un excesivo laboreo y una inadecuada planificación del uso de la tierra causando grandes impactos negativos por la mala implementación del sistema convencional de la producción de arroz. Este documento obtuvo resultado la evaluación de un conjunto de 6 indicadores índices de la estabilidad estructural y de percolación, contenido de material orgánica total (MOT), sodio de intercambio (CSI), conductividad Eléctrica del extracto de saturación (CEe) y reacción del suelo (pH). La aplicación del índice permitió diferenciar el impacto de distintas secuencias de cultivos, observando el incremento de la participación del cultivo de arroz en la rotación provocó un deterioro de la estructura del suelo, debido a la disminución de la MOT producido por el uso de la implementación de agroquímicos.

A través de publicaciones de la FAO (2015), la Asamblea plenaria de la Alianza mundial por el suelo en la celebración del año internacional del suelo, presento un artículo “Un suelo sano es un suelo vivo” donde indica que los sistemas agrícolas afectan claramente a los organismos, inclusive a sus actividades y su biodiversidad. Por ejemplo, el levantamiento de la capa vegetal de

tierras boscosas o de pastizales para el cultivo o la utilización excesiva o incorrecta de sustancias agroquímicas afectan al entorno del suelo y reducen drásticamente el número y las especies de los organismos de suelo. La disminución del número de especies vegetales con diferentes sistemas radiculares, de la cantidad y la calidad de los residuos de las plantas o del contenido de materia orgánica del suelo, limita la variedad de hábitats y de alimentos para los organismos del suelo (FAO, 2015).

En adición, en el río Malwathu Oya, de gran importancia para Sri Lanka- Asia, se registró contaminación por cadmio, como resultado del uso desmedido de agroquímicos en cultivos de arroz situados en las laderas de la cuenca, de los cuales se reportaron en agua, rangos 1- 134 $\mu\text{g/L}$ para cadmio, superando drásticamente los valores recomendados por la OMS (As: 10 $\mu\text{g/L}$ y Cd: 30 $\mu\text{g/L}$) (Perera et al., 2016) lo cual permite inferir que el desarrollo de actividades agrícolas como el cultivo de arroz, comúnmente realizadas en la región y gran parte del país, pueden generar -a causa de la sobreutilización de agroquímicos-, un aporte considerable de metales y metaloides como cadmio y arsénico a los cuerpos hídricos cercanos (Morales Robayo & Rojas Avirama, 2018).

Por otro lado, el grupo de investigación PLANTAE, de la universidad Francisco de Paula Santander de San José de Cúcuta, Colombia, ejecutaron el proyecto “Efecto de la aplicación de agroquímicos en el cultivo de arroz seco sobre los microorganismos del suelo” llevado a cabo en los Llanos Orientales de Colombia en la vereda Bella Suiza del municipio de Villavicencio, donde se realizó un diseño experimental con agroquímicos como: Glifosato, Bispiribac, Azoxystrobin y Malation, tomando muestras y utilizando la metodología de transeptos (Chaves Bedoya, Ortiz Moreno, & Ortiz Rojas, 2013).

Desde el punto de vista científico, la Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias hace parte del sistema de información científica para América Latina y el Caribe, publicaron un artículo sobre “Bioacumulación de metales pesados en arroz cultivado bajo condiciones de contaminación en la subcuenca Mampostón”, recalando que la contaminación del suelo y el agua tiene serios problemas ambientales, se realizaron muestreos de suelo y de plantas de arroz y se mandaron a

laboratorios. Los resultados indicaron que las concentraciones de trazas de metales pesados en las plantas no solo dependen de las concentraciones en los suelos sino también de la capacidad genética de las mismas (Mesa Pérez, Díaz Rizo, Sánchez Pérez, Baqué, & Tavella M, 2015). Estudios e investigaciones han permitido identificar la importancia del recurso natural suelo y el gran problema ambiental que causa el uso excesivo de aplicaciones de fertilizantes, plaguicidas que contienen cadmio (Cd) evidenciando la afectación por fuentes antropogénicas lo que ha desestabilizado el ciclo natural del medio ambiente.

Bohórquez, en su investigación “Evaluación de Los Niveles de Cadmio en Zonas Aledañas a Cementeras de Bucaramanga y Floridablanca– Santander” resalto que obtuvo niveles de cadmio en zonas aledañas a la cementera, estos resultados se encontraron por debajo de los valores establecidos por la Norma Técnica Colombiana 3934, pero no deja de ser preocupantes ya que estas zonas presentan una densidad poblacional media. Adicionalmente, la presencia de cadmio se puede atribuir a las obras de construcción y alto flujo vehicular que también son fuentes de este metal (Bohórquez Uribe , 2015).

La Orinoquia considerada como la despensa agrícola del país, a pesar de su gran reconocimiento, es una zona de Colombia en la cual se han realizado pocos estudios de evaluación sobre los metales pesados. Lo que puso en alerta a diferentes entidades públicas y privadas a realizar estudios para empezar a crear información real de los suelos. En la región de los Llanos Orientales, se han desarrollado proyectos de evaluó para identificar con más amplitud el estudio del suelo desde sus diferentes funciones y manejos pero muy pocos han sido enfatizados en la problemática que causan al suelo la aplicación de agroquímicos y contenido de metales pesados, lo que ha permitido crear proyectos por parte de la Universidad Nacional de Colombia, el CIAT, la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria Corpoica y la Universidad de los Llanos, entre otras, para implementar estudios en relación a los procesos, condiciones y la dinámica de los suelos sobre la región y calificar su calidad (Jamioy Orozco, Menjivar Flores, & Rubiano Sanabria, 2014).

Finalmente, estudiantes de la facultad de ciencias básicas e ingeniería en la especialización de Gestión Ambiental Sostenible de la Universidad de los Llanos, en el año 2011 realizaron un proyecto en la vereda Rincón de Pompeya titulado: “Lineamientos Generales para una Alternativa de Producción Limpia del Cultivo de Arroz seco favorecido, en la vereda Rincón de Pompeya, municipio de Villavicencio” (Pinzón & Ortiz, 2011). En la investigación de donde realizaron actividades con la comunidad, brindándoles el conocimiento de las condiciones ambientales, sociales y culturales de la vereda, lo que les permitió identificar como gran problemática la producción de arroz convencional que afecta directamente con la calidad de vida de los pobladores. Recalaron que el ámbito ambiental no es de gran importancia para los agricultores, por lo cual, se ha deteriorado el suelo con la mala implementación del sistema de producción de arroz seco favorecido, ellos no realizaron toma de muestras del suelo, solo realizaron talleres y jornadas de sensibilización para concienciar a la comunidad sobre la importancia ambiental que tiene la zona y su relación directa con las condiciones de la calidad de vida. Los autores eligieron la zona de estudio por la creciente preocupación sobre las malas prácticas agrícolas y agronómicas que estaban generando impactos ambientales negativos, afectando la sostenibilidad de la oferta natural, tanto como la calidad de vida de la comunidad y el mismo desarrollo socioeconómico de la vereda.

Capítulo III

Marco Teórico

En Colombia se encuentran cinco zonas de acuerdo con las características agroecológicas del país, la zona centro comprende los departamentos del Tolima, Huila, Valle del Cauca, esta zona posee los suelos más fértiles. Los Llanos Orientales, departamentos del Meta y Casanare, sus suelos son menos fértiles y se caracterizan por tendencia a la acidez. En el Caribe húmedo, comprende Antioquia, Bolívar, Córdoba y Sucre, con suelos fértiles, pero con problemas de inundación, en época de invierno y en el Caribe seco los departamentos del Cesar, Guajira y Santander, sus suelos tienden a ser alcalinos (Fedearroz, 2015).

La calidad del suelo es fundamental para las prácticas agrícolas. Un suelo fértil y sano les provee a las plantas los nutrientes esenciales para crecer y desarrollarse; las características físicas del suelo como su estructura y sus agregados le permiten al agua y al oxígeno llegar a las raíces de las plantas. Los suelos también se describen como “suelos sanos o suelos de calidad”, porque describen suelos que no solamente son fértiles, sino que también tienen propiedades físicas y biológicas para sostener la productividad, mantener la calidad del medio ambiente y promover la sanidad de plantas y de animales (Gomez Rodas, 2017). No obstante, actualmente se identifica una degradación por mala implementación de las prácticas agrícolas debido a la alta demanda que tiene el sector agrícola en la producción de alimentos.

Lo que ha permitido identificar que existe una contaminación del suelo, provocada por el uso de pesticidas, fertilizantes, herbicidas, además, agroquímicos que lentamente han deteriorado el suelo y esto provoca una reacción en cadena. Altera la biodiversidad del suelo, reduciendo la materia orgánica que contiene y su capacidad para actuar como filtro. También se contamina el agua almacenada en el suelo y el agua subterránea, provocando un desequilibrio de sus nutrientes. Entre los contaminantes del suelo más comunes se encuentran los metales pesados, los contaminantes orgánicos persistentes y los contaminantes emergentes, como los productos

farmacéuticos y los destinados al cuidado personal (FAO, 2018). Según la FAO (2019), la contaminación del suelo es devastadora para el medio ambiente y tiene consecuencias para todas las formas de vida a las que afecta. Las prácticas agrícolas insostenibles reducen la materia orgánica del suelo y pueden facilitar la transferencia de contaminantes a la cadena alimentaria. Las enfermedades presentadas y las plagas que atacan el producto reducen de manera significativa la terminación del cultivo, para combatir los efectos desastrosos de estos cuerpos nocivos se emplean agroquímicos (fungicidas, herbicidas e insecticidas) creados para intervenir los patógenos o enfermedades en los cultivos de arroz. Los fungicidas y herbicidas son los productos que se emplean con mayor frecuencia en este tipo de cultivos (Dardis & Walsh, 2000); estos productos son un componente importante de la agricultura moderna, pero su empleo desmedido puede ocasionar numerosos problemas e influir de manera negativa sobre la población microbiana del suelo y, por ende, en la regulación de los ciclos biogeoquímicos que requieren del buen funcionamiento del componente suelo, así como de la calidad y fertilidad de este.

Muchos de los herbicidas, fungicidas y pesticidas empleados en estos cultivos contienen metales pesados los cuales contienen trazas de elementos perjudiciales para las propiedades del suelo, generando desestabilización en las zonas productivas dando como resultado grandes problemáticas ambientales (Urizar, 1974). El metaloide cadmio (Cd) genera alta toxicidad en los suelos debido a su acumulación y fácil retención porque toma el suelo como cuerpo para que actúe como sumidero (Universidad de Costa Rica, 1987). Los suelos de la vereda Rincón de Pompeya son activos desde hace más de treinta años para realizar cultivos periodo tras periodo del año, se realizan rotaciones para acabar con plagas, pero siempre están en constante producción.

Marco Conceptual

Cultivo de Arroz: El arroz constituye uno de los alimentos más importantes; es de primera necesidad para más de la mitad de la población humana. En nuestro país se considera un cultivo de consumo básico. El arroz es una planta herbácea anual, cuya altura varía de 50 a 150 centímetros, según la variedad, el tipo de suelo y el clima (Zhao & McGrath, 2009). Está siembra es predominante en la finca “Entre caños”. Este cultivo es garantizado por la Federación Nacional

de Arroceros (Fedearroz) y ampliamente respaldado por la literatura, su comportamiento como planta hiperacumuladora de más de siete metales diferentes, siendo uno de los más problemáticos el Cd, por su movilidad y toxicidad (Febles, Amaral Sobrinho, Pérez, Zoffoli, & Lima, 2014).

Fenología cultivo de arroz: El cultivo de arroz en su ciclo de desarrollo, requiere de la fase vegetativa, reproductiva y de madurez, que varía de 120 a 140 días desde la germinación hasta la cosecha del grano, según las variedades del ciclo (Corto, intermedio o largo) aunque puede alargarse unos días más según las condiciones del clima y alcanzar hasta 5 meses (Olmos, 2007).

Suelo: El suelo es la capa delgada que cubre la mayor parte de la superficie terrestre. Consta de una porción sólida constituida por materiales orgánicos resultantes de la descomposición de seres vivos y de materiales inorgánicos formados de los residuos de rocas; una parte líquida que consiste de agua actuando como solución nutritiva y una parte gaseosa compuesta por el aire que entra de la atmósfera siendo vital para sus funciones metabólicas (Castro Franco, 1998).

La calidad del suelo es fundamental para las prácticas agrícolas. Un suelo fértil y sano le provee a las plantas los nutrientes esenciales para crecer y desarrollarse y las características físicas del suelo como su estructura y sus agregados le permiten al agua y al oxígeno llegar a las raíces de las plantas. Los suelos también se describen como “suelos sanos o suelos de calidad”, porque describen suelos que no solamente son fértiles, sino que también tienen propiedades físicas y biológicas para sostener la productividad, mantener la calidad del medio ambiente y promover la sanidad de plantas y de animales (Gomez Rodas, 2017).

Contaminación del Suelo: La FAO (2019) documentó que los suelos actúan de filtro y amortiguador para los contaminantes. Pero el potencial del suelo para hacer frente a esta presión es finito. Si se supera la capacidad del suelo para protegernos, los contaminantes se filtrarán (y se filtran) a otros elementos del entorno, como nuestra cadena alimentaria. Las prácticas agrícolas insostenibles reducen la materia orgánica del suelo, comprometiendo su capacidad para degradar

los contaminantes orgánicos. Esto aumenta el riesgo de que los contaminantes se liberen al medio ambiente (FAO, 2018).

Metales Pesados: Los metales pesados se encuentran como componentes naturales de la corteza terrestre ya sea en forma de minerales o sales, también por procesos naturales como las erupciones volcánicas y por actividades antropogénicas como residuos y emisiones industriales. Son elementos metálicos que tienen una alta densidad electrónica, no son biodegradables en el medio ambiente y en el ser humano, son tóxicos a concentraciones altas; se clasifican en dos grupos ya sean metales esenciales (Fe, Mn, Co, Zn, Cu, Ni) o tóxicos (Cd, Hg, Cr, Pb, As) (Prieto Méndez, González Ramírez, Román Gutiérrez, & Prieto García, 2009).

Cuando el contenido de metales pesados en el suelo alcanzan niveles que rebasan los límites máximos permitidos causan efectos inmediatos como inhibición del crecimiento normal en los cultivos y el desarrollo de las plantas, y un disturbio funcional en otros componentes del ambiente así como la disminución de las poblaciones microbianas del suelo, el término que se usa o se emplea es “polución de suelos” (Charles, 2000), La falencia en el crecimiento del cultivo repercute por movilidad de estos metaloides afectando a las plantas, ya que presentan modificaciones en la apertura estomática, fotosíntesis y transpiración, alteraciones en la funcionalidad de la membrana plasmática y desequilibrios en el metabolismo del cloroplasto, inhibiendo la síntesis de la clorofila y reduciendo la actividad de enzimas implicadas en la fijación de CO₂ (Ramírez, 2002).

Movilidad de los Metales Pesados: La movilidad de los elementos traza en los suelos es de suma importancia en cuanto a su disponibilidad y su potencial para lixiviarse de los perfiles del suelo al agua subterránea y difiere de su origen antrópico (Karczewska, 1996; Ma y Uren, 1998; Wilcke, 1998; Burt, 2003, 2015). La aplicación excesiva de agroquímicos que contienen metales pesados, no solo depende de su especiación química sino de una serie de parámetros tales como: características del suelo (pH, potencial redox, composición iónica de la solución del suelo, capacidad de cambio, presencia de carbonatos, materia orgánica, textura); naturaleza de la contaminación (origen de los metales y forma de deposición); condiciones medioambientales

(acidificación, cambios en las condiciones redox, variación de temperatura y humedad) (Sahuquillo, 2003).

En general, los metales pesados incorporados al suelo pueden seguir cuatro diferentes vías (García I. a., 2005):

- Pueden ser absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas.
- Pueden pasar a la atmósfera por volatilización.
- Pueden movilizarse a las aguas superficiales o subterráneas.
- Pueden quedar retenidos en el suelo, ocupando sitios de intercambio o específicamente adsorbidos sobre constituyentes inorgánicos del suelo, asociados con la materia orgánica del suelo y/o precipitados como sólidos puros o mixtos

Cadmio: Elemento químico relativamente raro, símbolo Cd, número atómico 48; tiene relación estrecha con el zinc, con el que se encuentra asociado en la naturaleza. Peso atómico de 112.40 y densidad relativa de 8.65 a 20°C (68°F). Su punto de fusión de 320.9°C (610°F) y de ebullición de 765°C (1410°F) son inferiores a los del zinc. Hay ocho isótopos estables en la naturaleza y se han descrito once radioisótopos inestables de tipo artificial. El cadmio es miembro del grupo IIb (zinc, cadmio y mercurio) en la tabla periódica, y presenta propiedades químicas intermedias entre las del zinc metálico en soluciones ácidas de sulfato. El cadmio es divalente en todos sus compuestos estables y su ion es incoloro (Lenntech, 1998).

El cadmio es un metal presente en la corteza terrestre que puede acumularse en organismos acuáticos y en cultivos (Chavarrías, 2014). Este agente tóxico asociado a la contaminación ambiental e industrial reúne cuatro de las características más temidas de un tóxico:

- Efectos adversos para el hombre y el medio ambiente.
- Bioacumulación.
- Persistencia en el medio ambiente.
- “Viaja” grandes distancias con el viento y en los cursos de agua.

Este metaloide se encuentra disuelto en el suelo, formando parte de minerales debido al intercambio catiónico o también incorporándose a estructuras biológicas. Su disponibilidad en el suelo depende de factores físicos como el estado del metal, la temperatura y la materia orgánica; y factores químicos como la solubilidad, el pH y el potencial redox (Robledo Vélez & Castaño Puerta, 2012). Al cadmio se le reconoce como uno de los metales pesados con mayor tendencia a acumularse en las plantas. El cadmio causa severos desequilibrios en los procesos de nutrición y transporte de agua en las plantas (Singh, Sharma, Agrawal, & Marshall, 2010).

Materia Orgánica: La materia orgánica está compuesta de residuos de plantas y de animales que se han muerto, de microorganismos vivos y muertos del suelo que al descomponerse y unirse en el suelo forma esta materia. La mayoría de los suelos agrícolas contienen una proporción muy pequeña de materia orgánica (menos del 5%), pero esta pequeñísima cantidad juega un papel muy importante para la calidad del suelo. La materia orgánica le ayuda a la fertilidad, a la estructura y a la actividad biológica del suelo. Se les agrega materia orgánica a los suelos al añadirle los cultivos de cobertera, los estiércoles, las compostas y con la rotación de cultivos (FAO, 2015).

pH: Es el principal factor de control de la disponibilidad de los metales para las plantas. La mayor parte de los metales tienden a estar más disponibles a pH ácido, ya que al producirse un descenso de este se mejora tanto la solubilidad de los metales como su absorción por las raíces de las plantas (Fernández, 2005). El pH, controla las reacciones de absorción/desorción y precipitación/solubilización. En general, es el factor que más influye, provocando un aumento de la solubilidad y por tanto la biodisponibilidad de los elementos de forma inversamente proporcional al pH del sustrato. Esto es debido a las reacciones de hidrólisis de los cationes, variando el pH que produce dicha reacción en función de la acidez del catión (Pérez González, 2005). Es importante tener en cuenta para la ejecución y desarrollo de la metodología que un pH menor a 7 indica acidez, mientras que un pH mayor a 7, indica un rango básico. Ya que el pH puede afectarse por componentes de fertilizantes, pesticidas, herbicidas, el pH es un indicador importante en la corteza terrestre y cambia químicamente según las desbastadoras aplicaciones que generan en el ciclo del cultivo de arroz.

Coefficiente Correlación de Pearson: Es el índice utilizado para medir el grado de relación que tienen dos variables, ambas cuantitativas, este coeficiente es una medida que indica la situación relativa de los sucesos respecto a las dos variables, es decir, representa la expresión numérica que indica el grado de correspondencia o relación que existe entre las 2 variables (Riquelme, 2019). Las características del coeficiente de correlación de pearson se evidencian a continuación (Universitat, 2016):

- a) El coeficiente de correlación de Pearson puede tomar valores entre -1 y 1.
- b) La correlación de una variable con ella misma siempre es igual a 1.
- c) El valor 0 indica ausencia de covariación lineal, pero NO si la covariación es de tipo no lineal.

Coefficiente Correlación de Spearman: Los coeficientes de correlación de Spearman son una prueba no paramétrica que permite medir la asociación o interdependencia entre dos variables discretas medidas (Sábado, 2009), ya que no asumen que los datos pertenecen a una muestra representativa de una comunidad cuya distribución puede ser descrita por ciertos parámetros, como la media y la desviación estándar, existen rangos y relación con cada uno (Ver Tabla 2).

A continuación, se muestran los rangos y las relaciones (Rodríguez, Hernández, & 2001):

Tabla 2. Rangos Correlación de Spearman

Rango	Relación
-0.91 a 1.00	Correlación negativa perfecta
-0.76 a -0.90	Correlación relativa muy fuerte
-0.51 a -0.75	Correlación negativa considerable
-0.11 a -0.50	Correlación negativa media
-0.01 a -0.10	Correlación negativa débil
0.00	No existe correlación
+0.01 a +0.10	Correlación positiva débil
+0.11 a +0.50	Correlación positiva media
+0.51 a +0.75	Correlación positiva considerable
+0.76 a +0.90	Correlación positiva muy fuerte
+0.91 a +1.00	Correlación positiva perfecta

Nota: Metodología de la investigación: McGraw-Hill. (Hernández Sampieri, Fernandez Collado , & Baptista, 2010, 2006, 2003, 1998, 1991). Adaptado por P. Silva, 2019.

Marco Legal

El Marco legal Normativo Nacional Colombiano (Ver Tabla 3) permite identificar que en Colombia no existe un marco legal específico sobre la contaminación de los metales pesados incluidos dentro del recurso suelo. Para la resaltar la importancia del suelo y la investigación de evaluación de cadmio disponible en los dos predios hablados, para el proyecto se desarrolla un marco legal mediante la realización de búsqueda implícita dentro de las diferentes leyes, decretos y normas (NTC) Nacional e Internacionalmente, las que permiten la relevancia de esta investigación para cuidar, velar y proteger los recursos naturales que son afectados antrópicamente por el ser humano. A continuación, se reflejan los contenidos descritos de cada norma y la pertinencia de aplicación para el proyecto:

Tabla 3. Marco Legal Normativo

Norma	Normas Generales	Pertinencia
CONPES 3375 de 2005: Política Nacional de Sanidad Agropecuaria e Inocuidad para el sistema de medidas sanitarias y fitosanitarias.	Contiene los lineamientos de políticas orientadas a mejorar las condiciones de sanidad e inocuidad de la producción agroalimentaria nacional, con el fin de proteger la salud y vida de las personas y de los animales, aumentar la competitividad, y fortalecer la capacidad para obtener la admisibilidad de los productos agroalimentarios en el mercado internacional.	
Ley 23 de 1973: El Congreso de Colombia concede facultades extraordinarias al presidente de la República para expedir el Código de Recursos Naturales y protección al medio ambiente y se dictan otras disposiciones.	El artículo 4 define la prioridad sobre la prevención de la contaminación del medio ambiente, por sustancias o formas de energía puestas allí por la actividad humana o de la naturaleza en cantidades, concentraciones o niveles capaces de interferir con el bienestar y la salud de las personas, atentar contra la flora y la fauna, degradar la calidad del medio ambiente o afectar los recursos de la Nación o de particulares.	
Decreto Ley 2811 de 1974: Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.	Presenta la importancia sobre los recursos naturales renovables y no renovables para el cuidado y protección del ambiente. El artículo 3 habla sobre la regulación del recurso suelo y subsuelo como recurso renovable. Complementa con el artículo 8 hablando sobre la degradación de los suelos como factor de deterioro en defensa del ambiente.	

Tabla 3.
Continuación

Normas	Normas Generales	Pertinencia
Ley 101 de 1993: El congreso de Colombia estipula el diario oficial No. 41.149, de 23 de diciembre de 1993. Ley General de Desarrollo Agropecuario y Pesquero.	Decreta por medio del artículo 1 el propósito de esta ley en unión con los artículos 64, 65 y 66 de la Constitución Nacional, fundamentan la estabilidad de las bases de un sistema de incentivos a la capitalización rural y a la protección de los recursos naturales. Además, presenta en la sección del artículo 66 el Gobierno Nacional estimulará actividades productivas sostenibles.	
Ley 165 de 1994: Convenio sobre la Diversidad Biológica.	Se encuentran incluidos los ecosistemas acuáticos y complejos ecológicos que hagan parte. En este se establecen áreas especiales de conservación de la diversidad biológica, dispone lineamiento para la selección, establecimiento y ordenación de estas áreas. Promueve la protección de ecosistemas, hábitats naturales y así mismo, el mantenimiento de poblaciones viables de especies en entornos naturales procura establecer las condiciones necesarias para armonizar el uso actual de la diversidad con la sostenibilidad.	
Política Nacional de Producción Más Limpia (1997): El consejo Nacional adopta la política.	En esta se acogen los principios fundamentales de la dimensión ambiental en sectores productivos con un enfoque preventivo y de minimización de impactos y riesgos ambientales.	
Ley 388 de 1997: Por medio del artículo 33 el Congreso de Colombia reglamenta el ordenamiento territorial sobre los usos del suelo en el País.	Objeta en el artículo 6 La definición de las estrategias territoriales de uso, ocupación y manejo del suelo, en función de los objetivos económicos, sociales, urbanísticos y ambientales. También el artículo 12 punto 1.3 Adopción de las políticas de largo plazo para la ocupación, aprovechamiento y manejo del suelo y del conjunto de los recursos naturales.	
Ley 353 de 1997: Convención relativa a los humedales de Importancia Internacional especialmente como Hábitat de Especies Acuáticas.	El artículo 4 de la Convención, determina que cada Parte Contratante fomentará la conservación de los humedales y de las aves acuáticas creando reservas naturales	
Decreto 843 de 1979	Dicta las disposiciones para el control de la industria y comercio de los abonos y enmiendas, acondicionadores fertilizantes acondicionadores del suelo y plaguicidas para uso agrícola.	
Decreto 4741 de 2005: Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral.	El artículo 19 enfatiza sobre la responsabilidad acerca Aquellas personas que resulten responsables de la contaminación de un sitio por efecto de un manejo o una gestión inadecuada de residuos o desechos peligrosos, estarán obligadas entre otros, a diagnosticar, remediar y reparar el daño causado a la salud y el ambiente, conforme a las disposiciones legales vigentes de la contaminación y remediación de sitios	
Real Decreto 1310 de 1990 de España Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación	Dicta los valores límites de concentración de metales pesados en suelo en relación con el pH.	

Tabla 3.
Continuación

Norma	Normas Generales	Pertinencia
Decreto 865 de 2010: Establece las disposiciones generales sobre los sustratos del cultivo y la evolución de la agricultura intensiva.		Presenta en el artículo 3 de este real decreto, referido a su ámbito de aplicación, se excluyen los sustratos o soportes de cultivo, indicándose que se regularán por una norma específica que prevea sus características, ingredientes y comercialización, considerando que existen productos fertilizantes que pueden incorporarse como aditivos a los sustratos de cultivo.
Resolución 1023 de 2005: El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial resuelve adaptar las Guías Ambientales como Instrumento de autogestión y autorregulación del sector regulado y de consulta.		La Guía de Manejo Ambiental constituye un marco de referencia técnica para las autoridades que conforman el Sistema Nacional Ambiental, al tiempo que recomienda los parámetros ambientales que orientarán a los productores del sector agropecuario.
Resolución 4506 de 2013: El Ministro de Salud y Protección Social		Por la cual se establecen los niveles máximos de contaminantes en los alimentos destinados al consumo humano y se dictan otras disposiciones
El Codex Alimentarius: reúne una serie de normas alimentarias internacionalmente adoptadas.		Encargada de ejecutar el Programa Conjunto FAO/OMS sobre Normas Alimentarias, que tiene por objeto proteger la salud de los consumidores y asegurar prácticas equitativas en el comercio de alimentos. Necesidad reconocida por el organismo o autoridad de certificación. El cadmio no deberá exceder 90mg/Kg. P205.
EPA/540/R95/128 de 1996		Las políticas establecidas en la Guía de análisis de suelo, este documento proporciona los antecedentes técnicos para el desarrollo de las metodologías descritas en el guía de selección: guía del usuario (EPA / 540 / R-96/018), junto con información adicional útil para la detección metales pesados en el suelo definiendo los niveles permisibles.
Plan de Acción Nacional del 2004		Lucha contra la desertificación y la sequía en los suelos colombianos, por lo cual, establece la importancia de la conservación del suelo por ser recurso natural vivo que cumple unas funciones dentro del ecosistema.

Nota: Recopilación normativa. Adaptado por P. Silva, 2019.

Capítulo IV

Procesamiento Metodológico

El estudio realizado tuvo como objetivo evaluar los contenidos de Cadmio disponible en el suelo de dos predios con diferente uso. Las fases de este trabajo se evidencian en el flujograma (ver Figura 4), con la finalidad de dar respuesta a la pregunta problema de la que surgió este trabajo. Las variables evaluadas son: pH, cadmio disponible en suelo, cadmio foliar, materia orgánica, carbono orgánico del suelo.

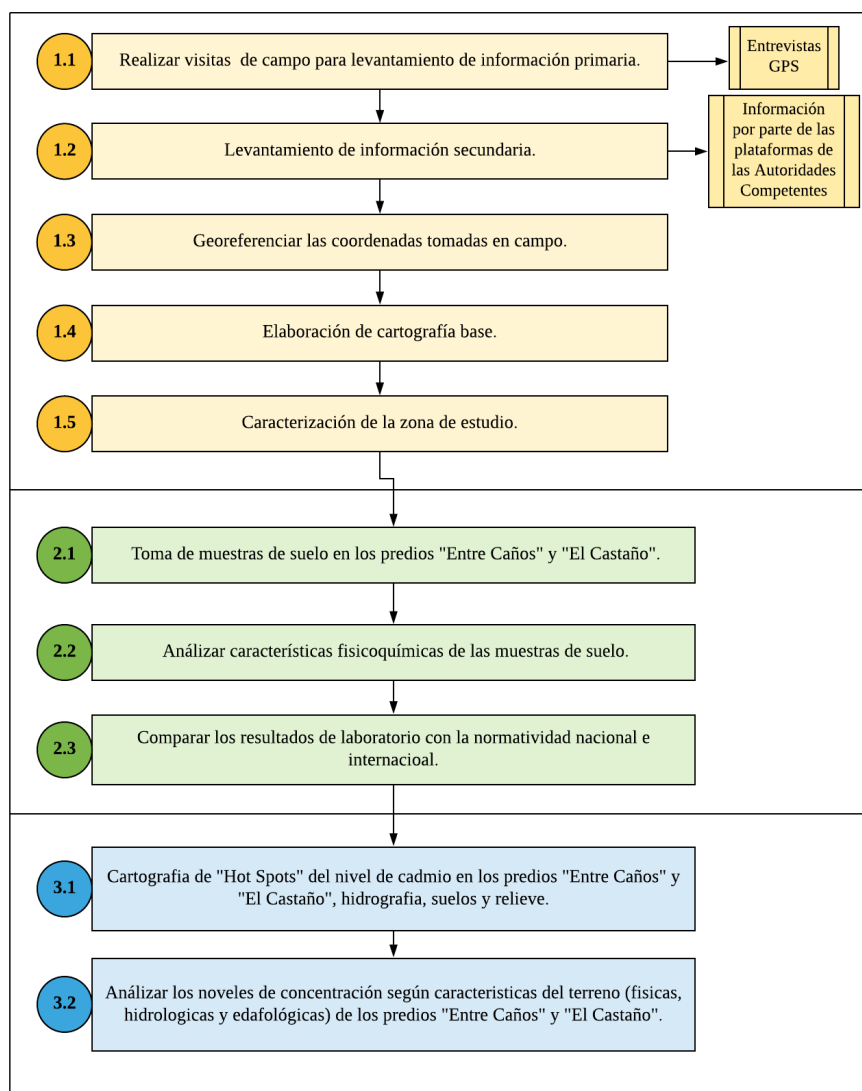


Figura 4. Flujograma metodológico. Adaptado por P. Silva,

FASE 1. Zonificación y caracterización de la zona de estudio

1.1 Realizar visitas de campo para levantamiento de información primaria.

Inicialmente se realizaron reuniones con Fedearroz, haciendo presentación del desarrollo y práctica metodológica que se realizaría con el presente trabajo de grado en dos predios que serían seleccionados de la vereda Rincón de Pompeya. Se realizaron entrevistas de tipo semiestructuradas con varios asistentes técnicos de la zona con el fin de consolidar el estado de los lotes y así, poder evidenciar que fincas a partir del uso histórico podrían ser de gran utilidad para la investigación. Dada la información recolectada se seleccionaron los predios “Entre Caños” (predio con cultivo de arroz) y “El Castaño” (predio con pastizal) obteniendo información sobre el tipo de uso del suelo que tienen los dos predios en estudio.

Con la selección de los lotes a estudiar, el de la finca “Entre Caños”, se obtuvieron las prácticas de manejo históricas y actuales mediante un informe proporcionado por Fedearroz, donde se muestran los resultados de laboratorio a partir de las caracterizaciones del suelo que históricamente se realizan al inicio de cada campaña agrícola por Fedearroz (Quevedo, 2018) de la misma forma, los récords de manejo y aplicación de los agroquímicos empleados en el cultivo de arroz.

Para el caso del predio con pastizal, se realizó una revisión bibliográfica con el fin de determinar la fuente natural de la que procede el cadmio. Recolección de información primaria a través del diálogo directo con los agricultores de la zona que siembran arroz, maíz y caña, cultivos pertenecientes a otras fincas que limitan en con predio estudiado, que brindan valor agregado a esta investigación.

Se realizaron 9 visitas de campo con duración de 10 horas cada una, con el fin de recolectar información primaria por medio de entrevistas semiestructuradas, recolección de muestras de suelo, recolección de muestras de arroz y solicitud de informes de Fedearroz, para identificar el estado actual de los predios a estudiar.

Tabla 4. Visitas de campo.

Número de visitas a campo	Descripción de actividad
1	Visita reconocimiento a la vereda Rincón de Pompeya con los ingenieros de Fedearroz.
2	Visita reconocimiento a la vereda Rincón de Pompeya con el director y codirector del proyecto.
3	Levantamiento de información primaria
4	Levantamiento de información primaria
5	Recolección de muestras grano de arroz
6	Levantamiento de información primaria
7	Visita a la vereda con los ingenieros de Fedearroz
8	Recolección de muestras suelo “Finca Entre Caños” y finca “El Castaño”.
9	Levantamiento de información primaria

Nota: Número de visitas realizadas en zonas de muestreo. Adaptado por P. Silva, 2019.

Mediante la ejecución se tuvo la oportunidad de interactuar con la comunidad de la vereda Rincón de Pompeya, testigos del conflicto del suelo que se ha venido desarrollando en esta desde hace más de 50 años, dando como resultado la afectación a la gran diversidad natural por la que representaba esta zona. Se identificó que muchos habitantes pertenecientes al sector poseen pocos conocimientos sobre temas ambientales, pues gran parte de los lotes que generan cultivos durante el año son predios arrendados a externos, lo que no permite que tenga sentido de pertenencia sobre la protección del medioambiente y sostenimiento del suelo.

1.2 Levantamiento de información secundaria.

Por medio de revisión bibliográfica, informes de Fedearroz e información cartográfica proveniente de plataformas de las autoridades ambientales se consolidó el contexto de estudio para poder realizar los análisis pertinentes. Algunas de las plataformas de las que se obtuvo la información secundaria fueron: SIAT, DANE, IDEAM, IGAC, Fedearroz, Alcaldía de Villavicencio y Gobernación del Meta.

1.3 Georreferenciar las coordenadas tomadas en campo.

Se realizó una visita programada a campo, para el proceso recolección de coordenadas, el recorrido inicio en la finca “Ente Caños” y luego en la finca “El Castaño”, para georreferenciar los lotes y obtener las coordenadas de cada predio. Con ayuda de un GPS submétrico se procedió recorrer cada lote para ir obteniendo las marcas de posición y tener el total de área de cada predio, lo que permitió reconocer la ruta exacta y poder crear el polígono de las dos áreas estudiadas.

Con la información obtenida se determinaron los puntos de interés para realizar el muestreo mediante selección aleatoria estratificada (Hernández-Valencia & López-Hernández, 2002).

1.4 Elaboración de cartografía base.

Con las coordenadas tomadas en campo se realizó la georreferenciación en el software ArcGIS 10.4, posteriormente, se ingresa un mapa base por medio del cual se generan los polígonos de los predios en estudio junto con el uso de los predios aledaños y finalmente, se adicionan los cuerpos de agua de la zona con la información proporcionada por el SIAT e IDEAM.

1.5 Caracterización de la zona de estudio.

A partir de las entrevistas semiestructuradas se consolida el contexto sociocultural, económico y ambiental de la vereda Rincón de Pompeya con el fin de analizar la influencia de estos factores en la contaminación del suelo por Cd.

FASE 2: Determinación de concentraciones y comparación con la normatividad

2.1 Toma de muestras de suelo en los predios “Entre Caños” y “El Castaño”.

Se inició la recolección de muestras de suelo en la finca “Entre Caños” (Ver Figura 5) después del corte de arroz, como se mencionó anteriormente el muestreo fue aleatorio estratificado. Para la toma de muestras dentro de la finca “Entre Caños” se seleccionaron 10 puntos centrales, cada uno con divisiones de dos puntos a la distancia de un metro del eje central tomadas como submuestras individuales (20 submuestras), esta división permitió tomar cada muestra de suelo en lugares relativamente homogéneos, cada punto fue georreferenciado. Las muestras individuales como parte del muestreo se obtuvieron para después combinar las submuestras con la muestra del eje central, y así obtener como resultado la muestra general.

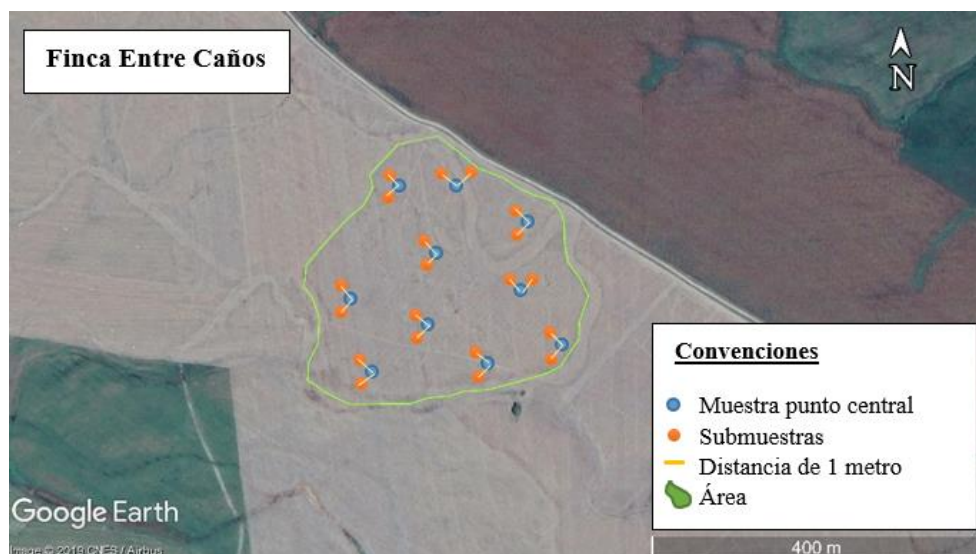


Figura 5. Similitud Muestreo Aleatorio Estratificado finca “Entre Caños”. Adaptado por P. Silva, 2019.

Esta misma metodología de muestreo aleatorio, fue aplicada sobre la finca “El Castaño” (Ver Figura 6) predio con pastizales, para este predio se seleccionaron también 10 puntos centrales, cada uno con sus respectivas submuestras (20 submuestras) dando un total de 30 muestras individuales extraídas. Las muestras individuales como parte del muestreo se obtuvieron para

combinar las submuestras con la muestra del eje central, obteniendo como resultado la muestra general.

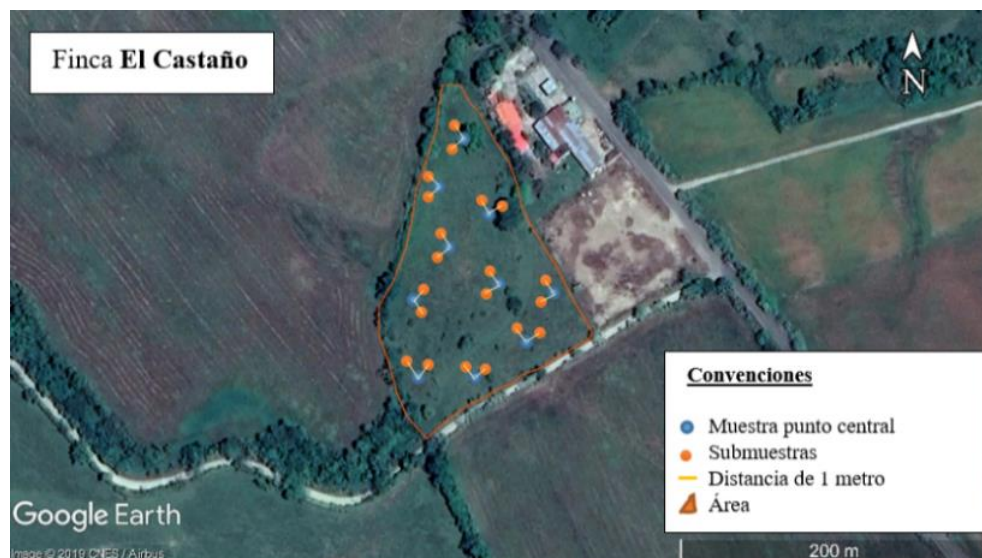


Figura 6. Similitud Muestreo Aleatorio Estratificado finca “El Castaño”. Adaptado por P. Silva, 2019.

Las muestras tomadas en los dos predios fueron extraídas de dos formas diferentes. Las muestras disturbadas (no preservan estructura de la muestra) se tomaron con auxilio de un barreno de acero inoxidable tipo Edelman con bajo contenido de metales pesados, cada muestra extraída se empaco en bolsas plásticas (ziploc), diferenciándolas con sus respectivas numeraciones. Las no disturbadas (preservan estructura de la muestra) con barreno tipo martillo y anillos de acero inoxidable. Las muestras se embalaron en bolsas plásticas libres de trazas de metales pesados y se llevaron al laboratorio de suelos de la Universidad de los Llanos, en donde, se alistaron las muestras para desarrollar las metodologías (métodos analíticos) escogidas con cada variable determinada.

Muestreo de grano.

En el momento de la cosecha del grano se realizó un sondeo en la tolva de transporte (Ver Figura 7 y 8), las muestras recolectadas se empacaron en bolsas de papel kraft, directamente se llevaron al laboratorio de la Universidad de los Llanos para realizar el pre – tratamiento, el secado

en horno a una temperatura de 40 °C, luego de esto la cascara de la semilla se eliminó mecánicamente en la empresa Semillano (Ver Figura 9), luego se embaló y se encamino para determinar el contenido de cadmio disponible en la Universidad Nacional de Colombia.



Figura 7. Finalización del ciclo (110 días) y corte del cultivo de arroz. Adaptado por P. Silva, 2019.



Figura 8. Recolección muestra de arroz finca “Entre Caños”. Adaptado por P. Silva, 2019.



Figura 9. Descascarar semilla mecánicamente en Semillano. Adaptado por P. Silva, 2019.

2.2 Análisis de las características fisicoquímicas de las muestras de suelo.

Las muestras tomadas en campo para cada predio fueron seleccionadas para medir parámetros físicos y químicos, incluido el contaminante (Cd). Se embalaron de forma correspondiente para entrega de cada laboratorio, muestras de arroz (tejido foliar) y suelo fueron llevadas al laboratorio de la Universidad Nacional de Colombia para determinar el cadmio disponible (Cd) (Ver Anexo A), cadmio foliar (para el predio “Entre Caños”). Para el análisis de los demás parámetros, se acudió al laboratorio de suelos de la Universidad de los Llanos, donde se analizó: pH, materia orgánica del suelo. Las muestras se llevaron al laboratorio de suelos de la Universidad de los Llanos (Ver Anexo B). A continuación, se encuentra la clasificación de las variables analizadas (Ver Tabla 5).

Tabla 5. Clasificación de las variables y el contaminante.

Variables Evaluadas	
Parámetros Químicos	Contaminante Metal Pesado
pH	Cadmio
Materia Orgánica	
Carbono Orgánico	

NOTA: Variables seleccionadas. Adaptado por P. Silva 2019.

2.2.1 Variables evaluadas

Para determinar los análisis de cada variable, fueron tomados de los protocolos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC I. G., 2006) y desarrollados en la Universidad de los llanos (UNILLANOS) y la universidad Nacional de Colombia – Bogotá (UNAL). Análisis químicos y físicos del recurso natural estudiado que permitieron determinar un análisis más detallado del problema y una mayor variedad de perspectivas de análisis.

pH

Las muestras disturbadas de las dos áreas les fue determinado los siguientes parámetros: pH en relación 1:1 método potenciométrico (Ver Figura 10), procedimiento electroquímico en el que se mide directamente un potencial de equilibrio termodinámico y en el cual esencialmente no fluye corriente neta (Brunatti & De Napoli, 2006). Ayuda a identificar las diferentes formas de acidez, evasividad que hay en el suelo.

Se pesaron 20 gramos de suelo, adicionándole 20 ml de agua destilada; como las cantidades fueron iguales la relación para realizar la determinación de pH fue 1:1. Lo que permitió identificar la variación del suelo, entre, los dos predios elegidos para esta investigación, según la escala si son ácidos, neutros o alcalinos.



Figura 10. Método Potenciométrico aplicado al suelo. Adaptado por P. Silva, 2019.

Materia Orgánica

El método aplicado a esta variable heterogénea se realizó mediante el método Walkley-Black (Ver Figura 11) en el cual se necesita una mesa de trabajo con espacio aislante del calor, para evitar perdida de la reacción. La muestra de suelo se trata con un volumen conocido de solución de $K_2Cr_2O_7$, que actúa como oxidante, en un medio fuertemente ácido (H_2SO_4 concentrado) en una proporción estipulada. El calor desprendido por la reacción del H_2SO_4 al diluirse favorece la acción del $K_2Cr_2O_7$ para que oxide la materia orgánica (Cenicafe, 2017). El exceso de oxidante se

determina titulando con una solución de $FeSO_4$ de normalidad conocida, que actúa como reductor.



Figura 11. Método Walkley-Black. Adaptado por P. Silva, 2019.

Cadmio en suelo

El método aplicado para comprobar el contenido de cadmio disponible en el suelo fue mediante Extracción con DTPA determinado por Absorción atómica-Llama. El método DTPA está entre los más eficaces para evaluar la disponibilidad de los micronutrientes y metales pesados en muestras de suelos debido a que resulta un método económico, reproducible, fácilmente adaptable a las operaciones rutinarias de laboratorio UNAL y, además, los procedimientos para la preparación y extracción de las muestras están estandarizados (Soltanpour & Schwab, 1977).

Para la extracción de Cd disponible se tomaron 12.5 g de suelo homogenizado, agregando 25 ml de solución extractora, la mezcla se agitó por dos horas y se filtró. El Cd total se determinó por el método USEPA 3050B, adaptado mediante el Laboratorio de la UNAL, que consiste en la digestión de 1 g de suelo con ácido clorhídrico HCl, ácido nítrico HNO_3 y peróxido de hidrógeno H_2O_2 . El digestato se diluye a un volumen final de 100 ml.

Cadmio foliar

En la muestra de grano se evaluó mediante la determinación de Cd en tejido vegetal, se realizó por vía seca, tomando 3 g de muestra de cada muestra (6 muestras tomadas de la Finca Entre Caños) y calcinado a 450°C por 6 horas. La ceniza se disolvió en HCl (1:1) y HNO₃ de acuerdo con el método 999.11 de la AOAC, Adaptado (Rodríguez Albarracín, 2017).

2.2.2 Análisis estadístico

2.2.2.1 Correlación

La evaluación de las variables se realizó mediante el software R v 3.6.1. Se generó una matriz de correlación de Spearman con el fin de identificar la medida en la que los parámetros fisicoquímicos del suelo se comportan con respecto al Cd. Esencialmente existen dos coeficientes de asociación: Pearson y Spearman. El primero es paramétrico y se emplea para muestras superiores a 30, de tal manera que los resultados se asemejan a la distribución real, en cambio el segundo coeficiente, Spearman, es no paramétrico, es decir que, la distribución de la muestra no se ajusta a una distribución conocida al tener una muestra inferior a 30. Para esta investigación se aplica el coeficiente de correlación lineal simple Spearman”, pues se tienen 10 resultados de laboratorio.

2.3 Comparar los resultados de laboratorio con la normatividad nacional e internacional.

En Colombia y en la región Orinoquia son muy pocos los estudios e investigaciones realizadas sobre la contaminación por metales pesados en suelos agrícolas, de igual forma en el país no existe un marco normativo que regule los contenidos de metales pesados en el suelo (Rueda Saa, Rodríguez Victoria, & Madriñan Molina, 2011), por esta razón, se utilizó el Real Decreto 1310 de 1990 de España, que brinda soporte sobre la importancia de calidad del suelo determinando a grandes rasgos la concentración del Cadmio disponible (Cd) (Ver Tabla 6) y también el Codex

Alimentarius, normas alimentarias sobre la Aplicación de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias de la OMC que contribuyen a la inocuidad, la calidad y la equidad en el comercio internacional de alimentos.

Tabla 6. Límite máximo permisible de Cd disponible en Suelo.

Parámetro	Valor límite	
	Suelos con pH menor de 7	Suelos con pH mayor de 7
Cadmio	1	3,0

NOTA: Límites permisibles de cd disponible en el suelo. Fuente del Real Decreto 1310/1990, España.

Por otro lado, entidades internacionales como la OMS, la FAO y el USDA definieron niveles máximos permisibles para Cd foliar en cereales como el arroz tal como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. Valores máximos permisibles en Cd foliar.

Parámetro	OMS	FAO	USDA
Cadmio foliar	0,1 mg/kg	0,4 mg/kg	0,2 mg/kg

NOTA: Valores máximos permisibles en cd foliar. Fuente: (Berg & Licht, 2002)

FASE 3: Análisis integral del nivel de cadmio disponible en el suelo

3.1 Cartografía de “Hot Spots” del nivel de cadmio en los predios “Entre Caños” y “El Castaño”.

Los *Sistemas de Información Geográfica* (en adelante SIG) son una herramienta esencial para el estudio y monitoreo de procesos espaciales a diferente escala de tal forma que se integran las ventajas de las bases de datos y de los mapas. Para el caso específico del análisis espacial de la concentración del cadmio, es muy útil emplear SIG para especializar el nivel de concentración y así mismo identificar factores externos que pueden influenciar en los resultados de laboratorio.

La cartografía de *Hotspots* se ha convertido en una técnica de análisis importante en el área ambiental, pues facilita la toma de decisiones para los gestores e ingenieros ambientales encargados de controlar y mitigar la contaminación en suelo (Hadley & Mueller, 2012).

Con la base de datos creada a partir de los resultados de laboratorio, se emplea la tecnología SIG para identificar los denominados *Hotspots* o puntos conflictivos en los que se concentra la mayor concentración de cadmio en los predios “Entre Caños” y “El Castaño” con el fin de especializar el nivel de contaminación en ambos predios.

3.2 Analizar los niveles de cadmio disponible en el suelo según factores externos.

A partir de los mapas tipo “Hotspots” de la concentración de cadmio disponible en el suelo, hidrología de la zona y las características del terreno, como las actividades realizadas en los predios aledaños a las zonas de estudio, se realiza un análisis integral de la influencia de factores externos en los puntos de muestreo donde se detectaron altos niveles de cadmio disponible.

Capítulo V

Resultados y Análisis

A continuación, se describen los resultados obtenidos en la ejecución del trabajo de grado, obtenidos de los objetivos planteados para la investigación con el análisis correspondiente:

FASE 1. Zonificación y caracterización de la zona de estudio

1.1 Información primaria

Mediante las entrevistas semiestructuradas fue posible comprender el contexto cultural de los predios. En términos generales los agricultores coinciden en que el suelo se ha venido deteriorando por el uso intensivo que se le ha dado a este por el arrendamiento de lotes para siembra de arroz, soya y maíz, por el mismo motivo reconocen no tener un sentido de pertenencia fuerte y manifiestan que los costos de producción han aumentado por los “efectos del cambio climático” por ende el suelo ha requerido mayor inversión en insumos agroquímicos y que han tenido que interrumpir los procesos ecológicos de ecosistemas estratégicos como los morichales con el fin de poder ampliar la frontera agrícola y compensar la pérdida económica que tendrían por la inundación de los mismos. En adición, se pudo observar que no hay un manejo adecuado de los envases de agroquímicos, pues no se dispone, sino que, por el contrario, se reutilizan en actividades cotidianas sin precaución alguna.

Finalmente, los agricultores relataron la forma en la que adecuaban el suelo para el inicio de la siembra (soya, maíz o arroz). Afirmaron que hacen aplicaciones de hidrocarburos en el suelo para quemar y de esta forma adecuar el suelo con el ánimo de dejar listo el suelo para la siembra del nuevo cultivo. Esta situación resulta preocupante, pues es una práctica no sostenible del suelo que

reduce el contenido de materia orgánica del suelo, contamina el suelo con contaminantes como el Cd y genera emisiones altamente contaminantes a la atmósfera (Muñoz, 2016).

1.2 Información secundaria.

Fedearroz proporcionó para la investigación un informe completo con los agroquímicos empleados en el cultivo del arroz en la finca “Entre Caños” donde se clasifica el uso de estos según las fases de siembra, vegetativa, reproductiva y madurez del cultivo. Esta información es importante en el sentido de que los agroquímicos son una de las principales fuentes de contaminación del suelo por Cd, por tanto, tener esta información permite analizar exactamente cuáles agroquímicos pudieron ser los causantes de la contaminación del suelo.

En el Anexo C se evidencia el proceso de aplicación de agroquímicos por las diferentes etapas del cultivo de arroz, como seguimiento de la ya antes mencionado en las labores que se realizan para generar como resultado un buen fruto. Se exponen las fases del ciclo del arroz con sus respectivos procedimientos de inicio a fin de corte, la clasificación de agroquímicos sintéticos, el producto con nombre comercial, la dosis y las unidades.

1.3 Georreferenciación y cartografía base.

Mediante la georreferenciación de los predios fue posible emplear tecnología SIG para visualizar en un mapa (Ver Anexo E) la ubicación espacial de ambos predios, así como visualizar los cuerpos de agua circundantes.

1.4 Caracterización de la zona de estudio.

- ***Población***

Según cifras del DANE (2014), la vereda Rincón de Pompeya posee 233 habitantes de los cuales 22 son productores residentes. La vereda tiene un área de 9'320,000 m² de las cuales 9064 m² corresponden a “Entre Caños” (arroz) y 6500m² a “El Castaño” (pastizal).

- ***Prácticas agrícolas***

Con la información obtenida mediante entrevistas semiestructuradas y el seguimiento que hace Fedearroz, se identificó que el productor agrícola realiza prácticas tradicionales donde no se tienen en cuenta medidas de seguridad personal ni ambiental, pues manifiestan que no se les han realizado capacitaciones en buenas prácticas agrícolas -BPA ni tienen interés alguno en aprender por falta de tiempo.

- ***Prácticas históricas***

Entre Caños

En la Figura 12 se encuentran los resultados de laboratorio con respecto a las concentraciones de los diferentes elementos. Claramente se observa que los contenidos de calcio (Ca) y magnesio (Mg) se están reduciendo en contenido en el tiempo, se puede deber a la extracción que se realiza en el cultivo de estos elementos.

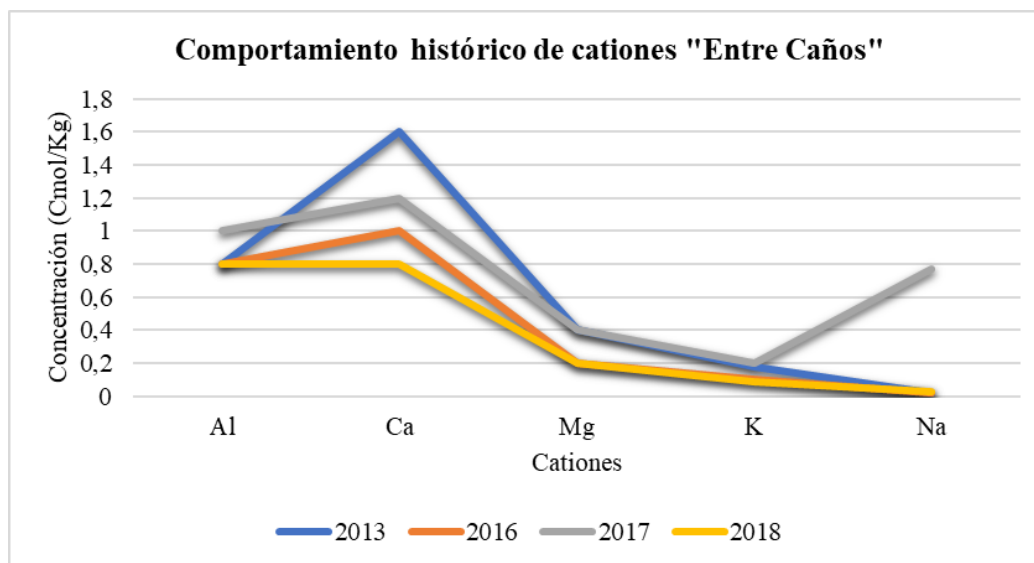


Figura 12. Resultados de laboratorio comportamiento histórico de cationes "Entre Caños". Adaptado por P. Silva, 2019.

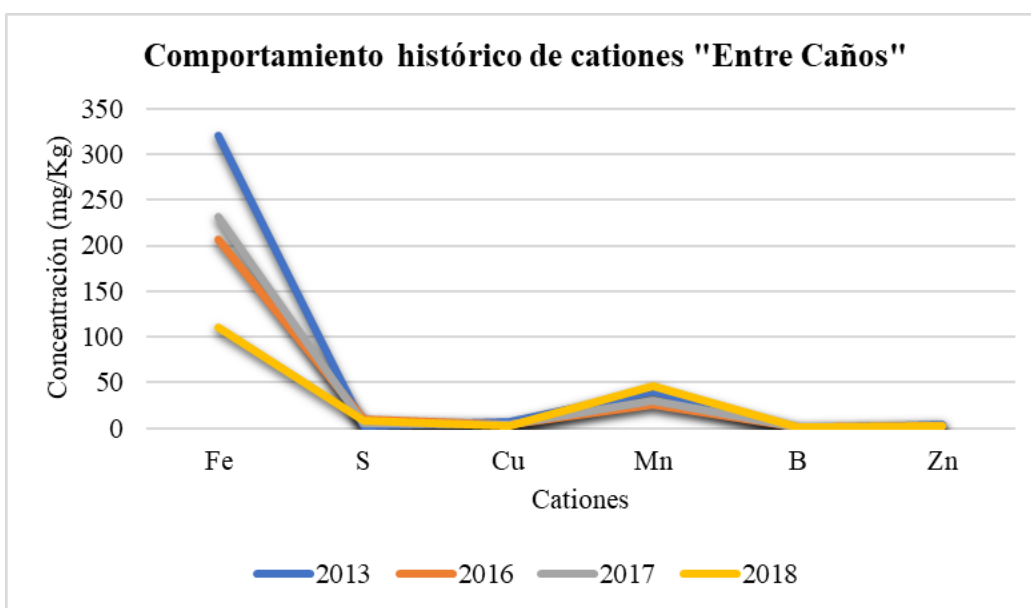


Figura 13. Comportamiento histórico de cationes "Entre Caños". Adaptado por P. Silva, 2019.

Por otro lado, se presentan altas concentraciones de manganeso (Mn) y hierro (Fe) (Ver Figura 13) que son típicos de suelos desarrollados a partir de material altamente meteorizado, como el de la zona de estudio.

El Castaño

El predio “El Castaño” lleva 25 años en reposo luego de que hubiese ganadería. Sin embargo, según los resultados obtenidos de la investigación de Lal R. (1996), esta actividad productiva genera impactos severos al suelo asociados al sobrepastoreo que genera la compactación del suelo y, por ende, la pérdida de fertilidad de este al modificarse la estructura del suelo, provocando a su vez la degradación de la vegetación y la intensificación de la erosión. Esta actividad de ganadería se realizó durante 3 años aproximadamente, un tiempo corto con respecto a los periodos en los que se realiza esta práctica en otros predios de la vereda Rincón de Pompeya.

FASE 2: Determinación de concentraciones y comparación con la normatividad

2.1 Toma de muestras de suelo en los predios “Entre Caños” y “El Castaño”

Se realizaron 20 tomas de muestra compuestas estratificadas, por tanto, se generaron 10 resultados por predio. En la Tabla 8 se observan los resultados obtenidos para el predio “Entre Caños” y en la Tabla 9, los resultados de “El Castaño”.

Tabla 8. Resultados de laboratorio predio "Entre Caños".

Concentración de Cadmio (mg/kg)	M.O (%)	C.O (%)	PH
< 0,09	1,325	0,76875	4,4
0,11-0,12	1,45	0,84	4,35

Nota: Realizadas con Excel a partir de los resultados de laboratorio. Adaptado por P. Silva, 2019.

Según la tabla anterior, los datos son homogéneos, por tanto, se infiere que existen factores externos que influyen en la variación de la concentración de Cd en suelo.

En la Tabla 9 se presenta el promedio de la concentración de cadmio en los granos de arroz. Esta medición se realiza con el ánimo de comparar la concentración de suelo con la del producto y verificar si está dentro de los estándares de calidad internacionales o si, por el contrario, representa un riesgo para la salud humana.

Tabla 9. Resultados de cadmio foliar

Parámetro	Cadmio foliar (mg/kg)
Muestras	6
Promedio	0,665

Nota: Realizada con Excel a partir de los resultados de laboratorio. Adaptado por P. Silva, 2019.

Para el predio “El Castaño” en el que el pastizal se encuentra en reposo, los datos para los dos rangos de concentración presentaron variación para la cantidad de materia orgánica (M.O), carbono orgánico (C.O) y pH se puede observar en la Tabla 10. Se entiende que a mayor disponibilidad de materia orgánica se disponibiliza el contaminante para las plantas o para su movilización, por tanto tiene sentido que disminuya la concentración del cadmio, por otro lado, se observa que en la concentración del cadmio aumenta ligeramente con pH de 4,5 aunque sigue siendo inferior a 6 que es el límite de inflexión del contaminante (Mcbride, 1994).

Tabla 10. Resultados de laboratorio predio "El Castaño".

Concentración de Cadmio (mg/Kg)	M.O (%)	C.O (%)	PH
< 0,090	2,125	1,231	4,29
0,11-0,13	1,6	0,64	4,5

Nota: Realizada con Excel a partir de los resultados de laboratorio. Adaptado por P. Silva, 2019.

2.2 Análisis de las características fisicoquímicas de las muestras de suelo

2.2.1 Análisis estadístico

En esta sección se realiza el procesamiento de la información, donde se emplea el software Microsoft Excel para generar los estadísticos básicos de los datos con el fin de analizar la variabilidad entre los datos y el software R v3.6.1 para correlacionar la información y entender la influencia de las variables en el comportamiento de la concentración del cadmio en el suelo.

Estadísticos básicos

Entre Caños

En la Figura 14 y Tabla 11 se observa el valor promedio de los parámetros analizados en laboratorio junto con los valores mínimo y máximo. En cuanto a la distancia de los datos con respecto al promedio, la materia orgánica (M.O) obtuvo el mayor puntaje.

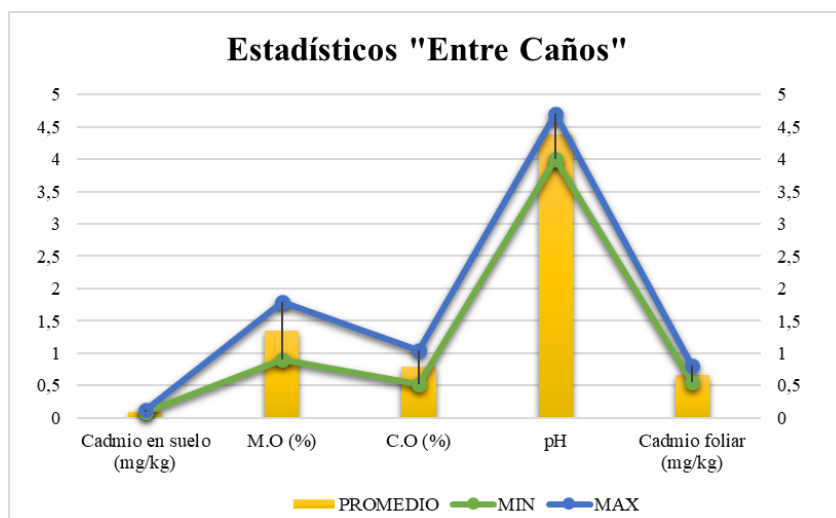


Figura 14. Promedio, mínimos y máximos "Entre Caños". Adaptado por P. Silva, 2019.

Tabla 11. Promedio, mínimo y máximo "Entre Caños".

	Cadmio en suelo (mg/kg)	M.O (%)	C.O (%)	pH	Cadmio foliar
DESVEST	0,0108	0,3240	0,1871	0,1792	0,0942
PROMEDIO	0,095	1,35	0,783	4,39	0,665
MIN	0,09	0,9	0,52	4	0,55
MAX	0,12	1,8	1,04	4,7	0,81

Nota: Realizada con Excel a partir de los resultados de laboratorio. Adaptado por P. Silva, 2019

Tal como se observa en la Tabla 11, la concentración del cadmio en el grano de arroz es siete veces mayor a la concentración de cadmio en el suelo, teniendo en cuenta los valores máximos encontrados.

El Castaño

Tal como en el predio anterior, la materia orgánica obtuvo la mayor desviación con respecto a la media se puede evidenciar en la Tabla 12 y Figura 15, esto quiere decir que los datos son heterogéneos, por otro lado, las demás variables tienden a tener un comportamiento homogéneo.

Tabla 12. Promedio, mínimo y máximo "El Castaño"

	Cadmio en suelo (mg/Kg)	M.O (%)	C.O (%)	pH
DESVEST	0,0135	0,5051	0,3483	0,2627
PROMEDIO	0,096	2,02	1,113	4,33
MIN	0,09	1,2	0,58	3,9
MAX	0,13	3,1	1,8	4,9

Nota: Realizada con Excel a partir de los resultados de laboratorio. Adaptado por P. Silva, 2019

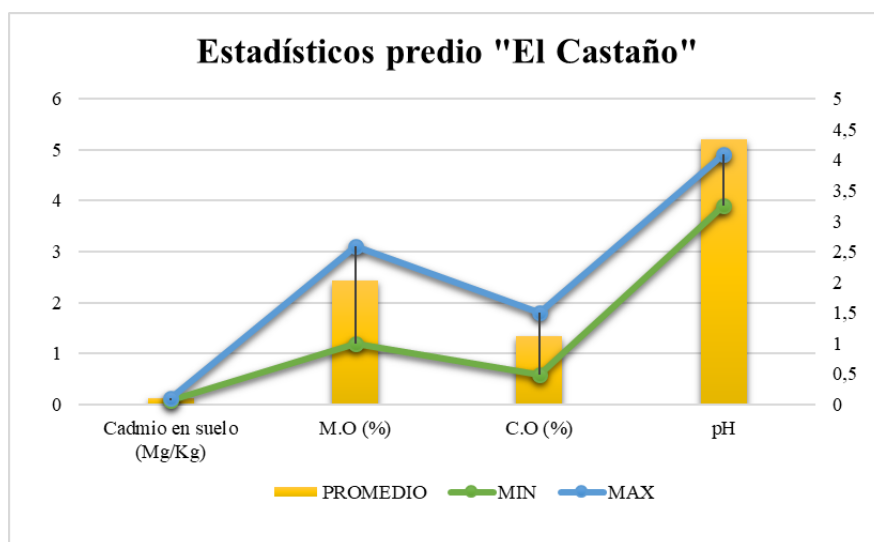


Figura 15. Promedios, máximos y mínimos "El Castaño". Adaptado por P. Silva, 2019.

2.2.1.2 Coeficiente de correlación de Spearman

Entre Caños

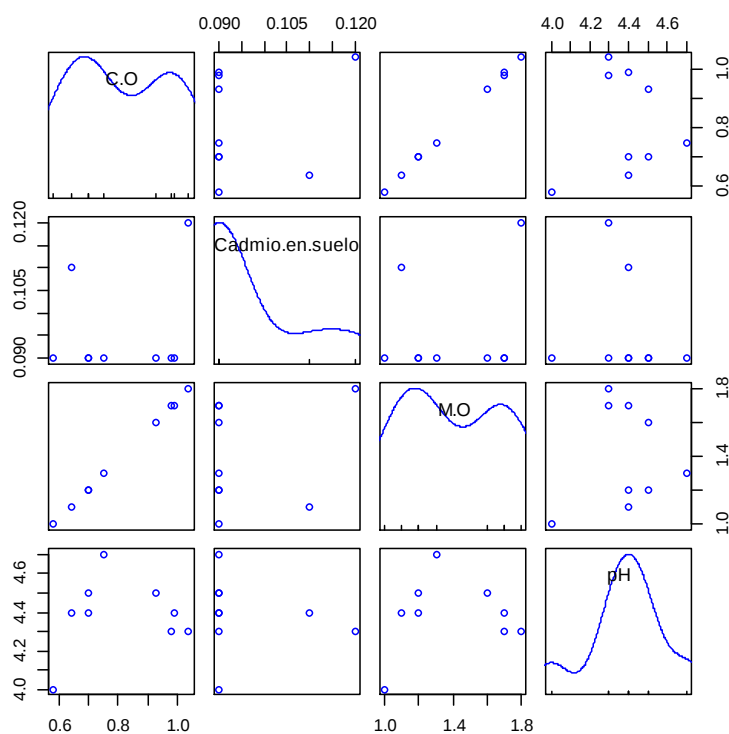
Según la información obtenida, se puede analizar que el carbono orgánico y la materia orgánica tienen una correlación positiva perfecta porque el carbono orgánico es el componente principal de la materia orgánica (FAO, 2017), por tanto, al aumentar el contenido de materia orgánica en el suelo aumenta en la misma medida el carbono orgánico. Por otro lado, el contaminante en estudio: Cadmio (Cd) para este predio tiene una relación directa débil con el contenido de carbono orgánico y la materia orgánica, entonces, al aumentar el contenido de materia orgánica en el suelo, la concentración de Cd tiene a aumentar ligeramente en este caso (Ver Tabla 13), aunque la literatura afirma que a mayor contenido de materia orgánica se disponibiliza el contaminante y tiende a reducir su concentración, es decir que puede verse influenciado por factores externos como la quema del suelo en la preparación del cultivo con gasolina (fuente de Cd). En contraposición, el pH tiene una correlación negativa media con el Cd, es decir, en la medida en que aumente el pH en el suelo, disminuye la concentración de Cd en el mismo (Mondragón, 2014).

Tabla 13. Correlación de Spearman para el predio "Entre Caños"

ENTRE CAÑOS (ARROZ)				
Correlación	C.O (%)	Cd en suelo (mg/Kg)	M.O (%)	pH
C.O (%)	1	0,18	1	-0,004
Cd en suelo (mg/kg)	0,18	1	0,18	-0,29
M.O (%)	1	0,18	1	-0,03
pH	-0,004	-0,29	-0,03	1

Nota: Realizada con Excel a partir de los resultados de laboratorio. Adaptado por P. Silva, 2019.

En la Figura 16. se encuentra la matriz de gráficas de dispersión de las variables en estudio con el fin de corroborar el comportamiento de estas con respecto a la concentración de cadmio.

**Figura 16** Matriz de diagramas de dispersión. Finca "Entre Caños" Adaptado por P. Silva, 2019.

En la matriz de diagramas de dispersión se observa el comportamiento de las variables, así como la correlación entre las mismas, por tanto, variables como C.O y M.O tienden a tener un comportamiento homogéneo, mientras que la concentración de cadmio disponible y el pH tienden a ser heterogéneos por su gran variabilidad con respecto al promedio.

El Castaño

En la Tabla 14 se observa que variables como el carbono orgánico y la materia orgánica (M.O en adelante) siguen teniendo una alta correlación positiva, sin embargo, la relación de estas con el cadmio es negativa y se explica en la medida en que exista mayor disponibilidad de M.O se aumenta la disponibilidad para ser adsorbida por superficies minerales o plantas como el arroz (Bacon & Davidson, 2008). Por otro lado, el pH tiene una relación directa considerable con el cadmio, resultado coherente con lo dispuesto en la literatura, pues el Cd aumenta su disponibilidad en condiciones ácidas y el Cd tiene un punto de inflexión alrededor del pH 6 (Mcbride, 1994), por tanto tiene sentido que entre mayor sea el pH va a ser más básico y va a permanecer en el sitio.

Tabla 14 Correlación de Spearman predio "El Castaño"

EL CASTAÑO				
Variables	C.O (%)	Cd en suelo (mg/kg)	M.O (%)	pH
C.O (%)	1	-0,72	0,78	-0,79
Cd en suelo (mg/kg)	-0,72	1	-0,26	0,53
M.O (%)	0,78	-0,26	1	-0,66
pH	-0,79	0,53	-0,66	1

Nota: Realizada con Excel a partir de los resultados de laboratorio. Adaptado por P. Silva, 2019.

En la Figura 17. se encuentra la matriz de gráficas de dispersión de las variables en estudio con el fin de corroborar el comportamiento de estas con respecto a la concentración de cadmio (Ver Figura 17) a continuación:

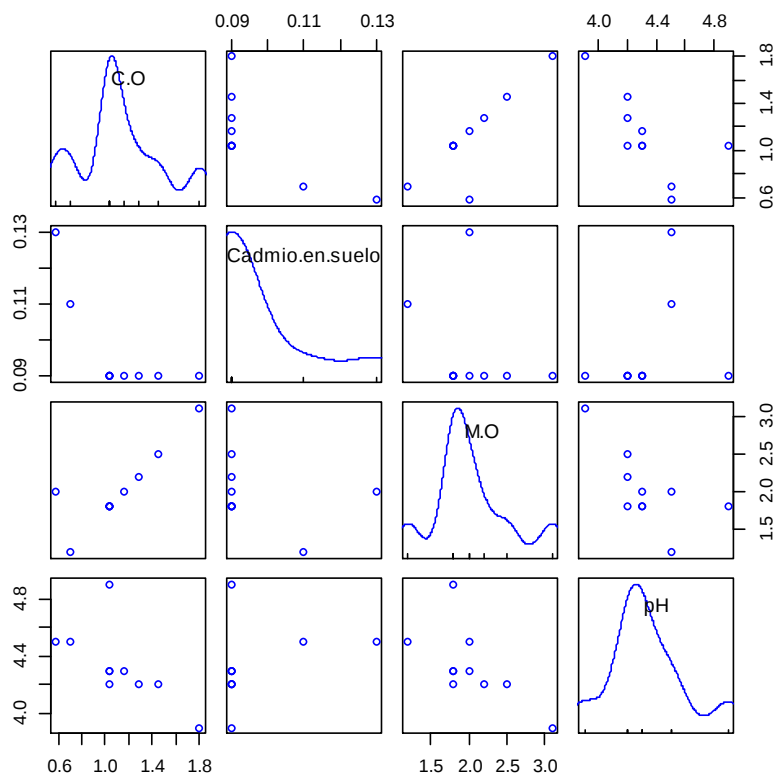


Figura 17 Matriz de gráficos de dispersión. Finca "El Castaño". Adaptado por P. Silva, 2019.

2.3 Evaluación del nivel de cadmio disponible.

Con el fin de evaluar el nivel de cadmio disponible en el suelo de los dos predios y del grano de arroz del predio “Entre Caños”, se realiza la comparación con respecto a la normatividad internacional, pues en Colombia actualmente no existen límites máximos permisibles para este metal pesado en suelos.

2.3.1 Evaluación del nivel de cadmio disponible en el suelo del predio “Entre Caños” y “El Castaño”

Según los resultados de laboratorio, la concentración máxima de cadmio disponible en el suelo del predio “Entre Caños” fue de 0,12 mg/kg y del predio “El Castaño” fue 0,13 mg/kg. Al comparar estos resultados con normatividad internacional como el Real Decreto 1310/1990 que establece 1 mg/kg como límite máximo permisible, es posible afirmar que la concentración de cadmio en el

suelo de ambos predios está dentro de los estándares. Cabe resaltar que, según estudios de Kashem, Singh, Kondo, HUQ, & Kawai (2007), un suelo se puede considerar como contaminado si el contenido promedio de cadmio en el suelo es superior a 0,41 mg/kg, por tanto se infiere que no están contaminados los suelos de los dos predios. En complemento, se debe tener en cuenta que en la corteza terrestre se tiene una concentración de cadmio en promedio de 0,2 mg/kg (He, He, Xiaoe, Stoffella, & Baligar, 2015).

2.3.2 Evaluación del nivel de cadmio foliar

Según los resultados de laboratorio, la concentración de cadmio en los granos es de 0,81 mg/kg que es siete veces más que la concentración máxima en suelo. Para analizar si cumple con los estándares de calidad se realiza la comparación con norma nacional e internacional. En cuanto a la norma nacional se encuentra la resolución 4506/2013 que define como límite máximo de concentración en granos de arroz 0,1 mg/kg se concluye que el arroz producido en “Entre Caños” supera los límites máximos permisibles, por tanto, el arroz que se está comercializando está contaminado y puede generar problemas para la salud humana. Al comparar el mismo resultado con normatividad internacional del Codex Alimentario de la FAO que tiene como límite máximo permisible 0,4 mg/kg, el arroz del predio en estudio sigue estando por encima. Se requiere que las autoridades competentes como el INVIMA controlen la situación pues se está ante un problema de salud pública.

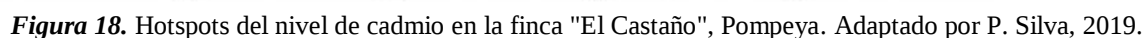
FASE 3: Análisis integral del nivel de cadmio disponible en el suelo

3.1 Análisis de los niveles de cadmio disponible en los predios “El Castaño” y “Entre Caños” según el contexto espacial.

En la Figura 18 se encuentra la distribución espacial de la concentración de cadmio para el predio “El Castaño”, cuyo valor máximo fue 0,13 mg/kg, el valor más alto entre los dos predios,

la posible explicación es la capacidad de asimilación del contaminante por la capa vegetal que recubre el suelo, teniendo el arroz una alta capacidad de asimilación del contaminante. La concentración máxima se sitúa en el suroccidente del mapa y se representa con un círculo rojo. En el mapa se observa que aledaño al predio se encuentran monocultivos de arroz de grandes extensiones, además de una estación de gasolina y dos vías principales altamente transitadas.

Cabe resaltar que en los predios donde hay monocultivo de arroz se realizan prácticas de quema inadecuadas de desechos plásticos. Con esta información se puede inferir que, a pesar de que en el predio no se realicen actividades agrícolas y que lleve 25 años en reposo, el contenido de cadmio en el predio “El Castaño” podría deberse a que en los predios aledaños se realizan estas malas prácticas y por la influencia de los vientos se decantan trazas de contaminantes como el cadmio, además del uso de agroquímicos de manera intensiva en los monocultivos de arroz (Iniap-promsa, 2015) y la contaminación generada por los vehículos que transitan en cercanías de predio. En adición, la presencia del afluente del río Guayuriba en el predio puede influir en las bajas concentraciones de Cd detectadas, pues por infiltración, percolación y escorrentía se puede disminuir la concentración del contaminante en el suelo para finalmente llegar al recurso hídrico, tal como sucedió en el estudio de ecotoxicidad del cadmio realizado por Sanchez (2016), tal como sucede en el predio El Castaño, sin embargo, es necesario hacer estudios del cuerpo de agua para verificar esta hipótesis.



En la Figura 19 se observa que el punto máximo de concentración de cadmio se encuentra en la zona sur occidental en el predio “Entre Caños”, las concentraciones de cadmio detectadas pueden deberse a los agroquímicos fosfatados que se emplean en el monocultivo de arroz y a las prácticas de quema de los desechos plásticos, dirigidos por la velocidad y dirección del viento, pues no se observan obstáculos que impidan la decantación de los contaminantes sobre el suelo.

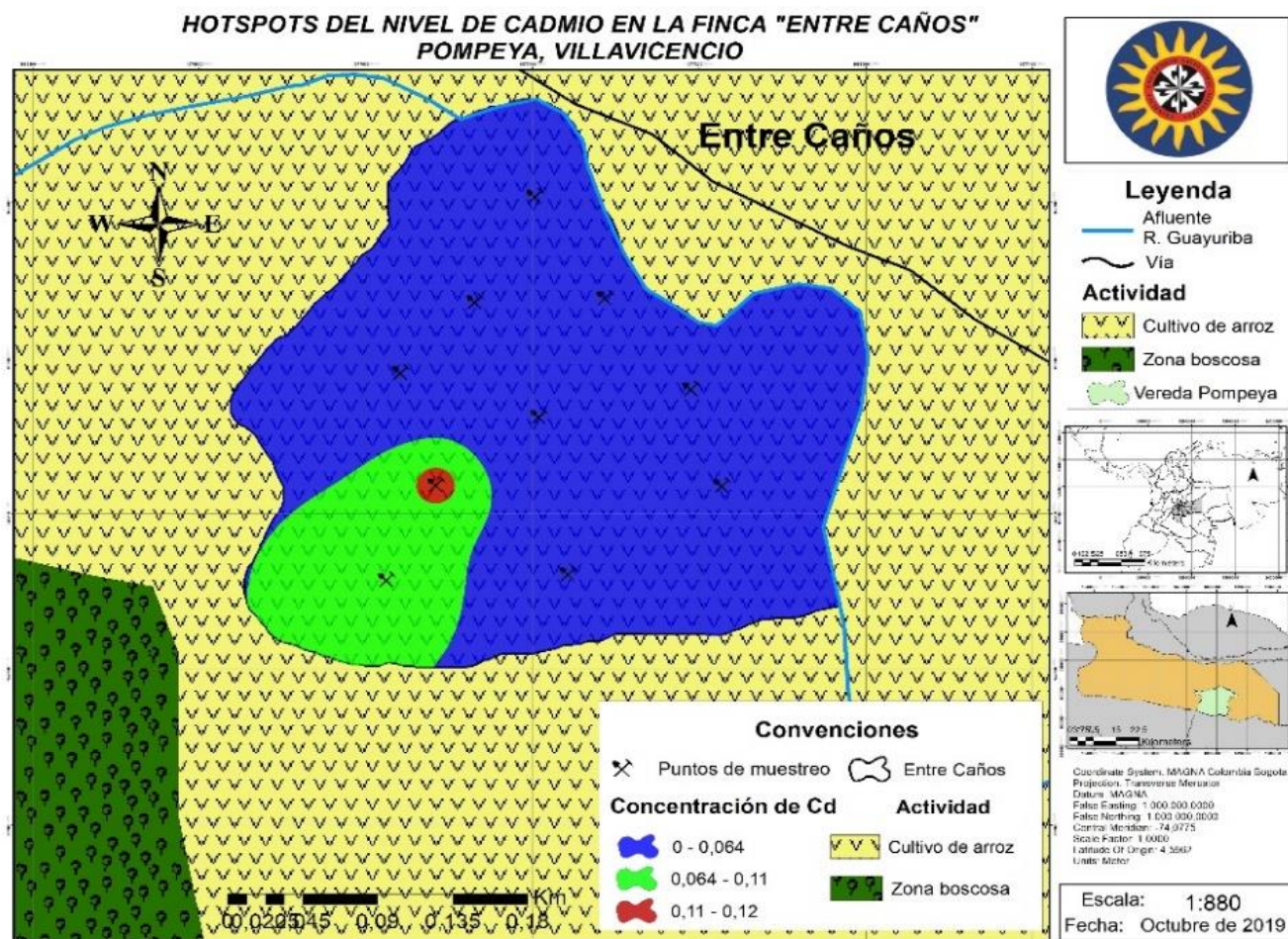


Figura 19. Hotspots del nivel de cadmio en la finca "Entre Caños", Rincón de Pompeya. Adaptado por P. Silva, 2019.

Por otro lado, se observa la influencia de la hidrología del predio sobre el nivel de concentración del Cd en el suelo. El afluente del río Guayuriba bordea el predio “Entre Caños” desde el norte hacia el sureste y es en este sector, donde la concentración del contaminante es menor a 0,09 mg/L, pudiendo deberse a un lavado del contaminante por efecto de esorrentía, infiltración y percolación, con lo que disminuye la concentración en el suelo y se espera aumente en el recurso agua, pues existen investigaciones en el caso específico como el de Sanchez (2016), sin embargo, se recomienda realizar análisis de presencia de Cd en el recurso hídrico para corroborar esta hipótesis.

Discusión

Los resultados obtenidos en esta investigación coinciden con el caso del río Malwathu Oya en Sri Lanka -Asia (Perera *et al.*, 2016), donde se analizaron factores externos que influyen en la concentración de cadmio en el suelo con cultivo de arroz, pues se llegó a la conclusión de que el uso intensivo de agroquímicos fosfatados aporta cadmio al suelo que tiende a bioacumularse en el grano de arroz. En la literatura se encuentran diversos casos con resultados similares a nivel global.

Con respecto a las altas concentraciones de cadmio en el grano de arroz, se encontraron coincidencias con los resultados publicados por la revista Ciencias Técnicas Agropecuarias con la investigación sobre la bioacumulación de metales pesados en arroz cultivado bajo condiciones de contaminación en la subcuenca Mampostón (Mesa *et al.*, , 2015), se encontró que según la especie que se esté cultivando varía la concentración del contaminante en el suelo por la capacidad genética de las mismas, siendo así, se encontró que el arroz tiene una alta capacidad de bioacumulación donde logró concentraciones hasta 7 veces mayores de cadmio con respecto al suelo. Por otro lado, la quema de plásticos y llantas, que son una de las malas prácticas que se realizan en la vereda Rincón de Pompeya son una de las principales fuente de contaminante tóxico como el cadmio, contaminante que no se degrada en el ambiente sino que, por el contrario, es bioacumulativo en la cadena trófica y genera un envenenamiento crónico para todos los seres vivos, una vez llega al suelo se concentra y se transfiere a las plantas si estas existen (Fundación Ecoterra, 1995).

Con respecto al predio “El Castaño” que no tenía actividad productiva, pero que, se encontraba en medio de dos vías altamente transitadas se puede atribuir parte de la concentración de cadmio disponible a la combustión vehicular, en el estudio realizado en Floridablanca, Santander, se evaluó el nivel de cadmio en zonas aledañas a cementeras, encontrando bajas concentraciones en el estudio, se le atribuyó al alto flujo vehicular el aporte (Bohórquez , 2015). Además, se puede pensar en que el suelo de este predio tuvo mayores concentraciones porque la especie que está cultivada (pastizal) no tiene la misma capacidad de asimilación del metal pesado con respecto al arroz que concentra hasta siete veces más cadmio que el suelo.

Conclusiones

- Por medio de SIG fue posible identificar potenciales factores externos que podrían contribuir al aumento de la concentración del metal pesado en suelo, tales como: la velocidad y dirección del viento; intensidad y frecuencia de precipitación; cercanía a la vertiente del río Guayuriba y punto de quema de plástico.
- Los predios “Entre Caños” y “El Castaño” tienen el mismo nivel de cadmio disponible en el suelo, sin embargo, se encuentran dentro de los límites máximos permisibles establecidos por normatividad internacional.
- El grano de arroz logra concentrar hasta 7 veces más cadmio que el suelo.
- El arroz del predio “Entre Caños” se encuentra contaminado con cadmio, pues supera los límites máximos permisibles por la resolución 4506/13 del Ministerio de Salud y su consumo representa un riesgo para la salud humana.
- Posiblemente el suelo y agua de los predios de la vereda Rincón de Pompeya se encuentran contaminados con Cd.
- Fedearroz debe realizar estudios especializados de presencia de metales pesados en los granos de arroz de los proveedores con el fin de evaluar la calidad de este y tomar medidas para controlar la posible contaminación del producto.
- Las prácticas inadecuadas como la quema de plástico y uso intensivo de fertilizantes fosfatados hacen que aumente la concentración del contaminante en ciertos puntos del predio según la velocidad y dirección del viento.

Recomendaciones

- Tomar muestras de pastizal para analizar la concentración de cadmio foliar con el fin de tener datos más precisos y una comparación sobre la capacidad de asimilación del contaminante entre grano de arroz y pastizal.
- Es necesario realizar estudios específicos en el recurso hídrico para verificar los niveles de concentración de Cd en la vertiente del río Guayuriba y dar respuesta a la hipótesis de que la carga de Cd del suelo se está desplazando al cuerpo de agua por infiltración, percolación y escorrentía.
- Es indispensable que se analicen los demás metales pesados en el suelo, agua y grano de arroz y verificar relaciones con el fin de identificar el estado actual de los recursos y su relación específica.
- Implementar programas de educación ambiental por parte de Fedearroz con el fin de mejorar las prácticas agrícolas y prevenir la contaminación del suelo.
- Activar un plan de contingencia por parte de Fedearroz por el arroz adquirido en el predio “Entre Caños” que se encuentra altamente contaminado con cadmio.
- Se deben realizar monitoreos anuales sobre la concentración de metales pesados en el suelo de los predios con el ánimo de identificar si las medidas que tomen Fedearroz y las autoridades competentes son eficaces.
- Fedearroz debe realizar análisis específicos sobre metales pesados en los diferentes predios con el fin de garantizar la inocuidad de los alimentos.

Bibliografía

- Alcaldía de Villavicencio. (2009). *Expediente municipal de suelo, espacio público y división del territorio*. Villavicencio: Alcaldía de Villavicencio. Obtenido de <http://www.villavicencio.gov.co/Transparencia/Normatividad/Resoluciones/Vigencia%20a%C3%B1o%202018/RESOLUCION%20No%20099%20DE%2025%20DE%20JUNIO%20DE%202018.pdf>
- Alloway , B. (2012). *Heavy Metals in Soils Blackie Academic and Professional. Trace Metals and Metalloids in soils and their Bioavailability*. Cover Image. Obtenido de https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=Soovc_GOk48C&oi=fnd&pg=PR5&dq=Heavy+Metals+in+Soils+Blackie+Academic+and+Professional.+Trace+Metals+and+Metalloids+in+soils+and+their+Bioavailability.&ots=RGdHVSqLuL&sig=1PZWNB5PyhgC41i3eBVslBQkEnQ
- Avellato, H. (Julio de 2001). *Reciclaje de envases de agroquímicos*. Obtenido de Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental.: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsare/e/proypilas/rematec2.pdf>
- Bacon, J., & Davidson, C. (2008). *Is there a future for sequential chemical extraction?* Obtenido de <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2008/an/b711896a>
- Bautista Zúñiga, F. (1999). Contaminación del suelo por metales pesados. En *Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales pesados*. (pág. 22). Yucatán, México: Universidad Autónoma de Yucatán.
- Beltrán Pineda , M. E., & Gomez Rodríguez , A. M. (2016). Biorremediación de metales pesados cadmio (cd), cromo (cr) y mercurio (hg) mecanismos bioquímicos e ingeniería genética: una revisión universidad militar nueva granada, 172. doi: <https://doi.org/10.18359/rfcb.2027>
- Berg, T., & Licht, D. (2002). *International legislation on trace elements as contaminants in food*. FoodAdditContam.

- Bohórquez Uribe, J. S. (2015). *Evaluación de los niveles de cadmio en zonas aledañas a cemeteras de bucaramanga y floridablanca-santander*. Obtenido de Repositorio Universidad Santo Tomás - Sede Bucaramanga: <https://hdl.handle.net/11634/2883>
- Brunatti, C., & De Napoli, H. (2006). *Métodos Potenciométricos*. Obtenido de FIUBA: <http://materias.fi.uba.ar/6305/download/Metodos%20Potenciometricos.pdf>
- Campos, C., & Hernando, N. (1990). Contaminacion por metales pesados . En *La contaminacion por metales pesados en la ciénaga grande de santa marta, caribe colombiano*. (págs. Caldasia, Volumen 16, Número 77, p. 231-243). Bogotá D.C: Instituto de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Colombia.
- Carles. (25 de Marzo de 2016). *Agroptima blog*. Obtenido de <https://www.agroptima.com/blog/contaminacion-agricola-consecuencias-de-las-malas-practicas/>
- Castro Franco, H. (1998). *Fundamentos para el Conocimiento y Manejo de Suelos Agrícolas: Manual Técnico*. Tunja: Instituto Universitario Juan de Castellanos ,. Obtenido de <https://catalogo.unillanos.edu.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=32581>
- Ceccon, E. (Septiembre de 2008). La revolución verde tragedia en dos actos. *Redalyc*, 21-29. Obtenido de Redalyc: <https://www.revistaciencias.unam.mx/es/44-revistas/revista-ciencias-91/235-la-revolucion-verde-tragedia-en-dos-actos.html>
- Cenicafe. (2017). *Biblioteca* . Obtenido de La materia organica : <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/803/4/C.%20Materia%20org%C3%A1nica.pdf>
- Charles, W. M. (2000). Heavy metal trends in floodplain sediments and valley fill, River Lahn, Germany. En *catena* (págs. 53-68). Copyright © 2000 Elsevier Science B.V. All rights reserved. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0341816299000806>
- Charter, R. A., Tabatabai, M. A., & Schafer, J. W. (2008). Communications in Soil Science and Plant. En *Contenidos de metales de fertilizantes comercializados* (págs. 961-792). Iowa: University. Obtenido de

<https://books.google.com.co/books?id=9BJIVxJLNO8C&printsec=frontcover&dq=Communications+in+Soil+Science+and+Plant&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi9zJ75osfnAhUBq1kKHdEzDAUQ6AEIKDAA#v=onepage&q=Communications%20in%20Soil%20Science%20and%20Plant&f=false>

Chavarrías, M. (22 de Mayo de 2014). *Propuesta para reducir la presencia de cadmio en alimentos*. Obtenido de El diario del consumidor - eroski consumer: <http://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/ciencia-y-tecnologia/2014/05/22/219932.php>

Chaves Bedoya, G.-B., Ortiz Moreno, M. L., & Ortiz Rojas, L. Y. (Marzo de 2013). Efecto de la aplicación de agroquímicos en un cultivo de arroz sobre los microorganismos del suelo. *Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal*, 62(1), 66-72. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169929770011>

Dach, J., & Starmans, D. (2005). Heavy metals balance in Polish and Dutch agronomy: Actual state and previsions for the future. En *Agriculture* (págs. 107:309-316.). Ecosystems & Environment. Obtenido de <https://books.google.com.co/books?id=GAQpAQAAIAAJ&q=Heavy+metals+balance+in+Polish+and+Dutch+agronomy:+Actual+state+and+previsions+for+the+future.+2005&dq=Heavy+metals+balance+in+Polish+and+Dutch+agronomy:+Actual+state+and+previsions+for+the+future.+2005&>

Dardis, J., & Walsh, E. (2000). Studies on the effectiveness of metconazole in controlling Fusarium Head Blight caused by Fusarium culmorum in Spring Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Cereal Research Communications*, 28(4), 443-448. Obtenido de <https://www.jstor.org/stable/23787276?seq=1>

FAO. (16 de Abril de 2015). *Año Internacional de los Suelos*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.: <http://www.fao.org/soils-2015/news/news-detail/es/c/282677/>

FAO. (2017). *Mapa de carbono orgánico del suelo*. Grupo Técnico Intergubernamental del Suelo.

- FAO. (02 de Mayo de 2018). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Obtenido de La contaminación de los suelos esta contaminando nuestro futuro.: <http://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1126977/>
- Febles, J., Amaral Sobrinho, N., Pérez, Y., Zoffoli, J., & Lima, M. (2014). Relación entre los procesos de erosión-sedimentacióncontaminación en suelos del Distrito Pecuario “Alturas de Nazareno”, Cuba”. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 48(2): 173. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193031101015>
- Fedearroz. (2015). *Manejo y conservación de suelos para la producción en arroz en Colombia*. Bogotá: Investigación de Tecnología. Obtenido de http://www.fedearroz.com.co/docs/Guia_de_trabajo_baja.pdf
- Fedearroz, F. (2011). Sector Arrocero de los Llanos . En *Dinamica del Sector Arrocero de los Llanos Orientales de Colombia* (págs. 5-10). Bogotá: Produmedios. Obtenido de http://www.fedearroz.com.co/doc_economia/Dinamica_del_sector_arrocero_en_los_Llanos_orientales.pdf
- Fernández, A. I. (2005). Contaminación de suelos por metales pesados. Obtenido de InfoAgro - Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo.: http://www.infoagro.com/abonos/contaminacion_suelos_metales_pesados.htm
- Fna, G. T. (2015). *Adopción Masiva de Tecnología*. Bogotá: Monica Vera - Diseñadora Gráfica. Obtenido de <http://www.fedearroz.com.co/docs/FolletoAMTEC2baja.pdf>
- Fundación Ecoterra. (14 de Noviembre de 1995). El daño por quemar las llantas. *El tiempo*. Obtenido de <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-454527>
- Galán huertos , E., & Romero Baena , A. (2008). *Contaminación de suelos por metales pesados* . Obtenido de Egean: http://www.ehu.eus/sem/macla_pdf/macla10/Macla10_48.pdf
- García, C., Moreno, J. L., Hernández , T., & Polo, A. (2002). *Metales pesados y sus implicaciones en la calidad del suelo*. Obtenido de Ciencia y medio ambiente: digital.csic.es/bitstream/10261/111812/1/Metales%20pesados%20y376.pdf
- García, I. a. (2005). *Contaminación por Metales Pesados*. En *Tecnología de Suelos*. . Obtenido de Universidad de Granada: <http://edafologia.ugr.es/>

- Gomez Rodas, A. (17 de Octubre de 2017). *The Pennsylvania State University [US]*. Obtenido de Introduccuón a los suelos: la calidad de los suelos: <https://extension.psu.edu/introduccion-a-los-suelos-la-calidad-de-los-suelos>
- Gorbunov, A., Frontasieva, M., Kystanov, A., Lyapunov, S., Okina, O., & Ramadan, A. (2015). Gale a Cengage Company. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, Vol. 24, No. Especial, pp. 25-30. Obtenido de <http://www.redalyc.org/html/932/93243475005/>
- Granero, S., & Domingo, J. L. (2002). Levels of metals in soils of Alcalá de Henares, Spain: Human health risks. Spain: Environment International. Obtenido de <https://books.google.com.co/books?id=fZt5DwAAQBAJ&pg=PA609&dq=Levels+of+metals+in+soils+of+Alcal%C3%A1+de+Henares,+Spain:+Human+health+risks.+2002&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwIj8ObNpcfnAhUx11kKHCRBA4Q6AEIPzAC>
- Gutiérrez Alemán, N. (Noviembre de 2011). *Dinámica del sector arrocerero de los llanos orientales de colombia*. Obtenido de Fedearroz: http://www.fedearroz.com.co/doc_economia/Dinamica_del_sector_arrocero_en_los_Llanos_orientales.pdf
- Hadley, P., & Mueller, S. (2012). Evaluating "Hot Spots" of Soil Contamination (Redux). *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 335-350. Obtenido de <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15320383.2012.664431?journalCode=bssc20>
- He, S., He, Z., Xiaoe, Y., Stoffella, P., & Baligar, V. (2015). Soil Biogeochemistry, Plant Physiology, and Phytoremediation of Cadmium. *Advaces in Agronomy*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0065211315001145>
- Hernández Sampieri, R., Fernandez Collado , C., & Baptista, P. (2010, 2006, 2003, 1998, 1991). coeficiente de correlación de Pearson. En *Metodología de la investigación - Quinta edición* (págs. 311-313). Mexico: Mcgraw-hill/interamericana editores, s.a de c.v. Obtenido de Nivel de medición de las variables. Intervalos o razón.: https://www.esup.edu.pe/descargas/dep_investigacion/Metodologia%20de%20la%20investigaci%C3%B3n%205ta%20Edici%C3%B3n.pdf

- Hernández-Valencia, I., & López-Hernández, D. (2002). Pérdida de nutrientes por quema de vegetación en una sabana de Trachypogon. *Biol.Trop.*, 50, 1013-1019. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/276294041_Hernandez-Valencia_I_y_Lopez-Hernandez_D_2002_Perdida_de_nutrientes_por_quema_de_vegetacion_en_una_sabana_de_Trachypogon_RevBiolTrop_50_1013-1019
- IGAC. (2014). Instituto geografico agustin codazzi - geoportal. Obtenido de Estudio general de suelos del departamento del Meta: <https://geoportal.igac.gov.co/>
- IGAC, I. G. (2006). *Metodos Analiticos del Laboratorio de suelos* (Sexta ed.). Bogotá: Nacional de Colombia. doi:ISBN 978-958-9067-98-7
- Iniap-promsa. (2015). *Determinación de metales contaminantes en cultivos de exportación y su repercusión sobre la calidad de los mismos*. Quevedo, Los Ríos, Ecuador: Depto. Suelos. Obtenido de <http://www.revistaespirales.com/index.php/es/article/view/213>
- Jamioy Orozco, D. D., Menjivar Flores, J. C., & Rubiano Sanabria, Y. (2014). Indicadores químicos de calidad de suelos en sistemas productivos del Piedemonte de los Llanos Orientales de Colombia. *Revistas Unal - Acta Agron.*, 64(4), 302 - 307. doi:<https://doi.org/10.15446/acag.v64n4.38731>
- Juste, I. (10 de Septiembre de 2019). *Ecologia Verde*. Obtenido de Contaminación del suelo: causas, consecuencias y soluciones.: https://www.ecologiaverde.com/contaminacion-del-suelo-causas-consecuencias-y-soluciones-285.html#anchor_3
- Karczewska, 1996; Ma y Uren, 1998; Wilcke, 1998; Burt, 2003. (Septiembre de 2015). Capitulo VIII. Estudio de la movilización de metales pesados. En *Estudio de la movilización de metales pesados* (págs. 141-145). Obtenido de <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/11036/Tasm11de16.pdf?sequence=11>
- Lenntech. (1998). *Propiedades químicas del Cadmio - Efectos del Cadmio sobre la salud - Efectos ambientales del Cadmio*. Obtenido de Lenntech.: <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/cd.htm>
- Madrid, C. (Junio de 2001 – 2006). Plan regional de actuaciones en materia de suelos contaminados de la comunidad de madrid. *Comunidad Madrid*, pág. 4. Obtenido de

http://www.madrid.org/cs/Satellite?blobcol=urldata&blobheader=application%2Fpdf&blobheadername1=Content-Disposition&blobheadervalue1=filename%3Dmgr_cit_13710_plan_completo.pdf&blobkey=id&blobtable=MungoBlobs&blobwhere=1352901094278&ssbinary=true

Mahler, R. (2004). *General overview of nutrition for field*. Obtenido de https://books.google.com.co/books?id=oA_zf8eKXv4C&pg=PA26&lpg=PA26&dq=Mahler,+Robert+L+General+overview+of+nutrition+for+field&source=bl&ots=3cmNreM8Xb&sig=ACfU3U20bIsFUtto4eX2jK8PDPOwG-pTXg&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiC_OOHosfnAhWprFkKHbvqDucQ6AEwAnoECAkQAQ#v

Martin, P. H. (1998). Soil carbon and climate perturbations: using the analytical biogeochemical. 87-97. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1462901198000094>

Mcbride, M. (1994). *Environmental Chemistry of Soils*. New York: Oxford University Press. Obtenido de <https://www.amazon.com/Environmental-Chemistry-Soils-Murray-McBride/dp/0195070119>

Mesa Pérez, M. M., Díaz Rizo, D. O., Sánchez Pérez, D. J., Baqué, D. D., & Tavella M, T. M. (Diciembre de 2015). Bioacumulación de metales pesados en arroz cultivado bajo condiciones de contaminación en la subcuenca Mampostón. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN -1010-2760, Vol. 24(Especial), 25-30. Obtenido de <https://www.rcta.unah.edu.cu/index.php/rcta/article/view/385/394>

MinAmbiente. (2016). *Política para la gestión y sostenible del suelo*. Bogotá (Colombia): Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Obtenido de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. : <https://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias-minambiente/2744-por-primera-vez-colombia-cuenta-con-una-politica-integral-para-la-gestion-del-suelo>

Mondragón, M. (2014). Uso de la correlación de Spearman en un estudio de intervención en fisioterapia. *Movimiento científico*, 98-104.

- Montanarella, L., Pennock, D., & McKenzie, N. (2016). Estado Mundial del Recurso Suelo. En F. y. GTIS, *Resumen Técnico - Capítulo 6. Los suelos y la salud humana* (pág. 27). Roma: organización de las naciones unidas para la alimentación y agricultura. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-i5126s.pdf>
- Morales Robayo, P. A., & Rojas Avirama, R. A. (30 de julio de 2018). Evaluación de la presencia y distrubusión de arsénico y cadmio en el río ocoa, municipio de villavicencio, meta. *Tesis*. Villavicencio, Colombia. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/13700>
- Muñoz, D. (2016). Diagnóstico de la degradación de los suelos en cultivo de arroz de riego intermitente y seco bajo el sistema de labranza tradicional aplicado en los llanos del Casanare. *Tesis de investigación presentada como requisito para optar por el título de Magíster en Ingeniería Ambiental*. Palmira, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de http://bdigital.unal.edu.co/54348/1/2016-David_Alejandro_Mu%C3%B1oz.pdf
- Olmos, S. (01 de Marzo de 2007). *Apunte de morfología, fenología, ecofisiología y mejorameinto genético del arroz*. Obtenido de Acpaarrozcorrientes - Facultad de Ciencias Agrarias, UNNE.: <http://www.acpaarrozcorrientes.org.ar/academico/Apunte-morfologia.pdf>
- Orozco, D. (Abril de 2011). *Propuesta indicadores de calidad edafologicos para valorar la influencia de los sistemas productivos sobre algunas propiedades fisicas y quimicas en suelos oxisoles del Piedemonte Llanero Colombiano*. Obtenido de Palmira: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias. : obtenido de: <http://www.bdigital.unal.edu.co/7169/1/7009004.2011.pdf>
- Pérez González, G. (Abril de 2005). *Disponibilidad de metales toxicos en sitios contaminados*. Obtenido de Universidad Autonoma de Barcelona: <file:///C:/Users/Paula%20Silva%20Orozco/Downloads/gpg1de2.pdf>
- Pinzón, S., & Ortiz, R. (2011). Lineamiento generales para una alternativa de producción más limpia de cultivo de arroz seco favorecido en la vereda Rincón de Pompeya, municipio de Villavicencio. *Título de Especialista en Gestión Ambiental Sostenible*. villavicencio, meta, colombia: universidad de los llanos. Obtenido de <https://repositorio.unillanos.edu.co/jspui/handle/001/218>

- PNUMA. (2003). *Geo américa latina y el caribe - Respectivas del medio ambiente*. Costa Rica. Obtenido de https://books.google.com.co/books/about/GEO_Am%C3%A9rica_Latina_y_el_Caribe.html?id=ppYUWpsGxUYC&redir_esc=y
- Prieto Méndez, J., González Ramírez, C. A., Román Gutiérrez, A. D., & Prieto García, F. (2009). Contaminación y fototoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 10(1), 29-30. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/939/93911243003.pdf>
- Ramírez, A. (2002). Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos. En U. N. Marcos., *Anales de la Facultad de Medicina* (Vol. 63, págs. 51 - 64). Copyright ©. doi:<https://doi.org/10.15381/anales.v63i1.1477>
- Reyes, Y. C. (13 de Junio de 2016). *Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria*. Obtenido de Ingeniería Investigación Y Desarrollo, 16(2), 66–77.: https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria_sogamoso/article/view/5447
- Robledo Vélez, L., & Castaño Puerta, A. (2012). Validación de la metodología para el análisis de los metales cadmio y plomo en el agua tratada por absorción atómica con horno de gráfico en el laboratorio de análisis de agua y alimentos. 113. Pereira. Obtenido de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/3145/5430858R666.pdf;jsessionid=770848EB6C180602A72B9E4EF7B5800E?sequence=1>
- Rodríguez Albarracín, H. S. (2017). *Dinámica del cadmio en suelos con niveles altos del elemento, en zonas productoras de cacao de Nilo y Yacopí, Cundinamarca*. Obtenido de Universidad Nacional de Colombia sede - Bogotá (Facultad de Ciencias Agrarias): <http://bdigital.unal.edu.co/62280/352/1019048469.2017.pdf>
- Rueda Saa, G., Rodríguez Victoria, J. A., & Madriñán Molina , R. (07 de Octubre de 2011). Metodologías para establecer valores de referencia de metales pesados en suelos agrícolas: perspectivas para Colombia. *Methods for establishing baseline values for heavy metals in agricultural soils: Prospects for Colombia*. Palmira, Colombia: Universidad Nacional de

- Colombia. Obtenido de https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/28821/29120
- Sábado, J. T. (2009). *Findamentos de bioestadística y análisis de datos para enfermería*. Barcelona: Trivium 2.
- Sahuquillo, A. R. (2003). *ScienceDirect*. Obtenido de Overview of the use of leaching/extraction tests for risk assessment of trace metals in contaminated soils and sediments: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0165993603003030>
- Singh, A., Sharma, R., Agrawal, M., & Marshall, F. (2010). Risk assessment of heavy metal toxicity through contaminated vegetables from waste water irrigated area of Varanasi, India. En *Tropical Ecology*, (Vol. 52, págs. 375-387). Obtenido de <http://sro.sussex.ac.uk/id/eprint/17772/>
- Sl Extertonic. (11 de Agosto de 2015). *Electronica escuder S.A*. Obtenido de https://www.extertronic.com/shop/es/blog/22_insecticidas-quimicos-y-contaminacion.html
- Soltanpour, P., & Schwab, A. (11 de Noviembre de 1977). na nueva prueba de suelo para la extracción simultánea de macro y micronutrientes en suelos alcalinos. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 8(3), 195-207. doi:10.1080 / 00103627709366714
- U. d. (2016). *Universitat de valència*. Recuperado el 13 de febrero de 2020, de Coeficiente de Pearson: https://www.uv.es/webgid/Descriptiva/31_coeficiente_de_pearson.html
- Universidad de Costa Rica. (1987). *Efecto de las aguas contaminadas en la producción agrícola*. Texas: Universidad de Texas. Obtenido de <https://books.google.com.co/books?id=KEFjAAAAMAAJ&q=Efecto+de+las+aguas+contaminadas+en+la+producci%C3%B3n+agr%C3%ADcola&dq=Efecto+de+las+aguas+contaminadas+en+la+producci%C3%B3n+agr%C3%ADcola&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwj7iPL8qsfnAhXBxVkJHRP3CsAQ6AEIKDAA>
- Urizar, M. (1974). *Seminario regional sobre insecticidas, fungicidas y herbicidas*. Managua, Nicaragua: Dirección Regional para la Zona Norte. Obtenido de

https://books.google.com.co/books/about/seminario_regional_sobre_insecticidas_fu.html?id=NltAAAAIAAJ&redir_esc=y

Yarasca Bejarano, J. L. (2015). *Modelo sistématico para evaluar la recuperación de suelos contaminados por plomo en el distrito de concepción*. Obtenido de TESIS: http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/1481/TESIS_YA.PDF?sequence=1&isAllowed=y

Zhao, F.-J., & McGrath, S. (3 de June de 2009). Biofortification and phytoremediation. *science direct*, 12, 373-380. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369526609000272?via%3Dihub>

Anexos

Anexo A Resultados de laboratorio cadmio foliar

REPORTE DE ANÁLISIS
TEJIDO VEGETAL No. 88

 Laboratorio de Aguas y Suelos
 Facultad de Ciencias Agrarias
 Sede Bogotá


INFORMACIÓN DEL SOLICITANTE			
Fecha recibo:	30/04/2019	Recibo de pago:	RC 183
Nombre:	Paula Silva	Identificación:	1121919009
Dirección:	Carrera 17A #33 A 33	Teléfono:	3219245536
Email:	paulasilva@usantotomas.edu.co	Ciudad:	Villavicencio

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA			
Finca:	Entre caños	Cultivo:	Arroz
Propietario:	Liliana Quevedo	Lote:	Varios
Municipio:	Villavicencio (Vereda rincon de Pompeya)	Departamento:	Meta

n.s.: No solicitado, Pend: Pendiente

RESULTADOS

Código	Lote	Cd
1030	2	0,81
1031	3	0,66
1032	4	0,65
1033	5	0,55
1034	6	0,59
1035	7	0,73

Nota: Estos resultados son válidos únicamente para las muestras entregadas por el usuario al laboratorio

*Continuación Anexo A. Resultados de laboratorio cadmio foliar***REPORTE DE ANÁLISIS
TEJIDO VEGETAL No. 88**

Laboratorio de Aguas y Suelos
Facultad de Ciencias Agrarias
Sede Bogotá



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

MÉTODOS			
Nombre Variable	Método	Determinación	Unidades
Cd: Cadmio total	Calcinación; digestión ácida con HCl/HNO ₃	Absorción atómica - Llama	mg/kg

RECUERDE: El plan de fertilización es más eficiente si Ud consulta con el profesional de Asistencia Técnica de su localidad

Observaciones: No reporta

Realizó: Edgar A. Avendaño (Qco)
Coordinador Técnico

Aprobó: Prof. Martha C. Henao
Coordinadora de laboratorio

Está prohibida la reproducción total o parcial de este reporte sin previa autorización escrita del laboratorio

Anexo B. Resultados de laboratorio análisis de materia orgánico y carbono orgánico

	UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS		CÓDIGO: FO-GAA-108	
			VERSIÓN: 01	PAGINA: 1 de 2
	PROCESO GESTION APOYO A LA ACADEMIA		FECHA: 16/12/2016	
FORMATO RESULTADO ANALISIS DE MATERIA ORGÁNICA Y CARBÓN ORGÁNICO		VIGENCIA: 2016		

SOLICITANTE: PAULA ANDREA SILVA OROZCO	
MUNICIPIO: VILLAVICENCIO	DEPARTAMENTO: META
FINCA: LA ROSERITA	VEREDA: BAJO POMPEYA

MUESTRA LAB. No.	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO	M.O. %	C.O. %
107	Suelo Arrocero 01	1.6	0.93
108	Suelo Arrocero 02	1.2	0.70
109	Suelo Arrocero 03	1.2	0.70
110	Suelo Arrocero 04	1.7	0.98
111	Suelo Arrocero 05	1.3	0.75
112	Suelo Arrocero 06	1.8	1.04
113	Suelo Arrocero 07	1.1	0.64
114	Suelo Arrocero 08	1.7	0.99
115	Suelo N. 01	1.8	1.04
116	Suelo N. 02	2.2	1.28
117	Suelo N. 03	2.5	1.45
118	Suelo N. 04	1.8	1.04
119	Suelo N. 05	1.8	1.04

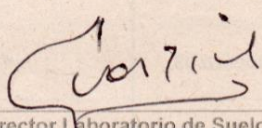
Km. 12 vía Puerto López, Vereda Barcelona - Villavicencio - Meta
 PBX. (098) 6616800 - Ext. 119
 E-Mail: laboratoriodesuelos@unillanos.edu.co

Fuente. Laboratorio de suelos Universidad de los Llanos

Continuación Anexo B. Resultados de laboratorio análisis de materia orgánico y carbono orgánico

	UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS		CÓDIGO: FO-GAA-108	
			VERSIÓN: 01	PAGINA: 2 de 2
	PROCESO GESTION APOYO A LA ACADEMIA FORMATO RESULTADO ANALISIS DE MATERIA ORGÁNICA Y CARBÓN ORGÁNICO		FECHA: 16/12/2016	
		VIGENCIA: 2016		

120	Suelo N. 06	2.0	1.16
121	Suelo N. 07	3.1	1.80
122	Suelo N. 08	1.2	0.70

Fecha de recibido			REVISÓ:	Fecha de entrega		
Día	Mes	Año		Día	Mes	Año
04	03	2019	 Director Laboratorio de Suelos	08	03	2019

Km. 12 vía Puerto López, Vereda Barcelona - Villavicencio - Meta
 PBX. (098) 6616800 - Ext. 119
 E-Mail: laboratoriodesuelos@unillanos.edu.co

Fuente. Laboratorio de suelos Universidad de los Llanos

Anexo C Agroquímicos aplicados en el cultivo de arroz "Entre Caños"

Fase	Procedimiento	Clasificación	Producto	Dosis	Unidades	Categoría Toxicológica	Composición e Ingrediente Activo
Siembra	Quema	Herbicida	Gramoxone	3	Lt/ha	Categoría III Ligeramente peligroso	Dicloruro de paraquat dimetil 4-4 bupiridilio
	Preemergente	Herbicida	Shooter 38	1,5	Lt/ha	Categoría III ligeramente peligroso	Oxadiazón grupo oxadiazol
		Herbicida	Fosel 480	2,5	Lt/ha	Categoría III ligeramente peligroso	Glifosato, sal isopropilamina glycine
		Herbicida	Propanil	500	Lt/ha	Categoría III ligeramente peligroso	Picloram+2,4D Grupo químico hormonal
Vegetativa	Postemprana	Herbicida	Clomafed	800	cc/ha	Categoría II moderadamente peligroso	Clomazone 2-clorobenzyl-4-4 dimetil 1-2-oxazolidin-3 –one grupo químico Isoxazolidinona
		Herbicida	Piclofed	250	cc/ha	Categoría II moderadamente peligroso	2,4D + Picloram
	Primera Fertilización	Insecticida	Lufenuron	250	cc/ha	Categoría II moderadamente peligroso	1-2-5- Dicloro -4-hexafluoropropoxy phenyl3—2,6-difluorobenzoyl urea
		Fertilizante	DAP	1	Bulto/ha	Categoría IV Toxicidad Aguda	Fertilizante sólido, granulado.
Fertilizante		Urea	1,5	Bulto/ha	Categoría III ligeramente peligroso	Fertilizante sólido, simple, granulado, color blanco, textura pastosa.	
Fertilizante		KCL	1	Bulto/ha	Categoría II ligeramente peligroso	Fertilizante sólido granulado, de color rojo.	
Vegetativa	Aplicación de enfermedad	Fertilizante	Kieserita	1	Bulto/ha	Complemento menor con alto contenido de Magnesio y Azufre.	Fertilizante sólido granulado
		Herbicida	Bispiribac	500	cc/ha	Categoría II moderadamente peligroso	Pyrimidil-thio-benzale
	Segunda Fertilización	Herbicida	Pendimetalina	4	Lt/ha	Categoría II moderadamente peligroso	Pendimetalina , grupo químico dinitroanilinas
		Fertilizante	DAP	1	Bulto/ha	Categoría IV Toxicidad Aguda	Fertilizante sólido, granulado.
		Fertilizante	Urea	1	Bulto/ha	Categoría III ligeramente peligroso	Fertilizante sólido, simple, granulado,

Reproductiva	Segunda Fertilización	Fertilizante	KCL	1	Bulto/ha	Categoría II ligeramente peligroso	Fertilizante sólido granulado, de color rojo.
		Fertilizante	Kieserita	1	Bulto/ha	Complemento menor con alto contenido de Magnesio y Azufre.	Fertilizante sólido granulado
	Tercera Fertilización	Fertilizante	Urea	1	Bulto/ha	Categoría III ligeramente peligroso	Fertilizante sólido, simple, granulado, color blanco, textura pastosa.
		Fertilizante	KCL	1	Bulto/ha	Categoría II ligeramente peligroso	Fertilizante sólido granulado, de color rojo.
	Cuarta Fertilización	Fertilizante	Urea	0,5	Bulto/ha	Categoría III ligeramente peligroso	Fertilizante sólido, simple, granulado, color blanco, textura pastosa.
		Fertilizante	Sulfato de Mg	1,5	Bulto/ha	Categoría III sustancia peligrosa	Cristales solubles para aplicación edáfica o foliar o en riego
		Fungicida	Kasugamicina 2%	1,3	Lt/ha	Categoría III ligeramente peligroso	5 Amino-2 Metil-6-Pentahidroxiciclohexil oxi Tetrahidropiran-3-O Alfa.Acidoiminoacético
	Primera Espiga	Fungicida	Triciclazole	300	gr/ha	Categoría III ligeramente peligroso	Triazolobenzothiazoles, 5 Metil- 1,2,4 Triazolo Benzothiazole
		Insecticida	Imidacloprid	200	cc/ha	Categoría II moderadamente peligroso	1-6 Chloro-3-3 Pyridymetil-N-Nitroimidazolidin-2-y lideneaminew Del Grupo Químico Neonicotinoids
			Propic + Difec	250	cc/ha	Categoría II moderadamente peligroso	Propiconazol (2RS, 4RS, 2RS, 4SR) -1-(2-(2,4-DICLOROPHENYL)-4-PROPYL-1,3-DIOXOLAN-2YLMETYL)-1H-1, 2,4-TRIAZOLE
	Segunda Espiga	Fungicida	Mancozeb	3	Lt/ha	Categoría II Moderadamente peligroso	Manganese ethylenbis Dithiocarbamete del grupo ditiocarbamatos

Fuente: Fedearroz, 2018. Adaptado por P. Silva, 2019

Anexo D. Resultados de laboratorio cadmio en el suelo

REPORTE DE ANÁLISIS
SUELOS No. 89

 Laboratorio de Aguas y Suelos
 Facultad de Ciencias Agrarias
 Sede Bogotá

 UNIVERSIDAD
NACIONAL
 DE COLOMBIA

INFORMACIÓN DEL SOLICITANTE			
Fecha recibo:	29/04/2018	Recibo de pago:	Recibo de caja 183
Nombre:	Paula Silva	Identificación:	1121919009
Dirección:	Carrera 17A #33 A 33	Teléfono:	3219245536
Email:	paulasilvao@usantotomas.edu.co	Ciudad:	Villavicencio

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA			
Finca:	Varios	Cultivo:	Varios
Propietario:	Varios	Lote:	Varios
Municipio:	Varios	Departamento:	Meta

n.s.: No solicitado, Pend: Pendiente

RESULTADOS				
	Código	Cultivo	Lote	Cdd
	660	Arroz	SA1	<0,09
	661	Arroz	SA2	<0,09
	662	Arroz	SA3	<0,09
	663	Arroz	SA4	<0,09
	664	Arroz	SA5	<0,09
	665	Arroz	SA6	0,12
	666	Arroz	SA7	0,11
	667	Arroz	SA8	<0,09
	668	Arroz	SA9	<0,09
	669	Arroz	SA10	<0,09
	670	Sin cultivo	SN1	<0,09
	671	Sin cultivo	SN2	<0,09
	672	Sin cultivo	SN3	<0,09
	673	Sin cultivo	SN4	<0,09
	674	Sin cultivo	SN5	<0,09
	675	Sin cultivo	SN6	<0,09
	676	Sin cultivo	SN7	<0,09
	677	Sin cultivo	SN8	0,11
	678	Sin cultivo	SN9	0,13
	679	Sin cultivo	SN10	<0,09

Continuación Anexo D. Resultados de laboratorio cadmio foliar

REPORTE DE ANÁLISIS
SUELOS No. 89

 Laboratorio de Aguas y Suelos
 Facultad de Ciencias Agrarias
 Sede Bogotá


Nota: Estos resultados son válidos únicamente para las muestras entregadas por el usuario al laboratorio

MÉTODOS			
Nombre Variable	Método	Determinación	Unidades
Cdd: Cadmio disponible	Extracción con DTPA	Absorción atómica - Llama	mg/kg

RECUERDE: El plan de fertilización es más eficiente si Ud consulta con el profesional de Asistencia Técnica de su localidad

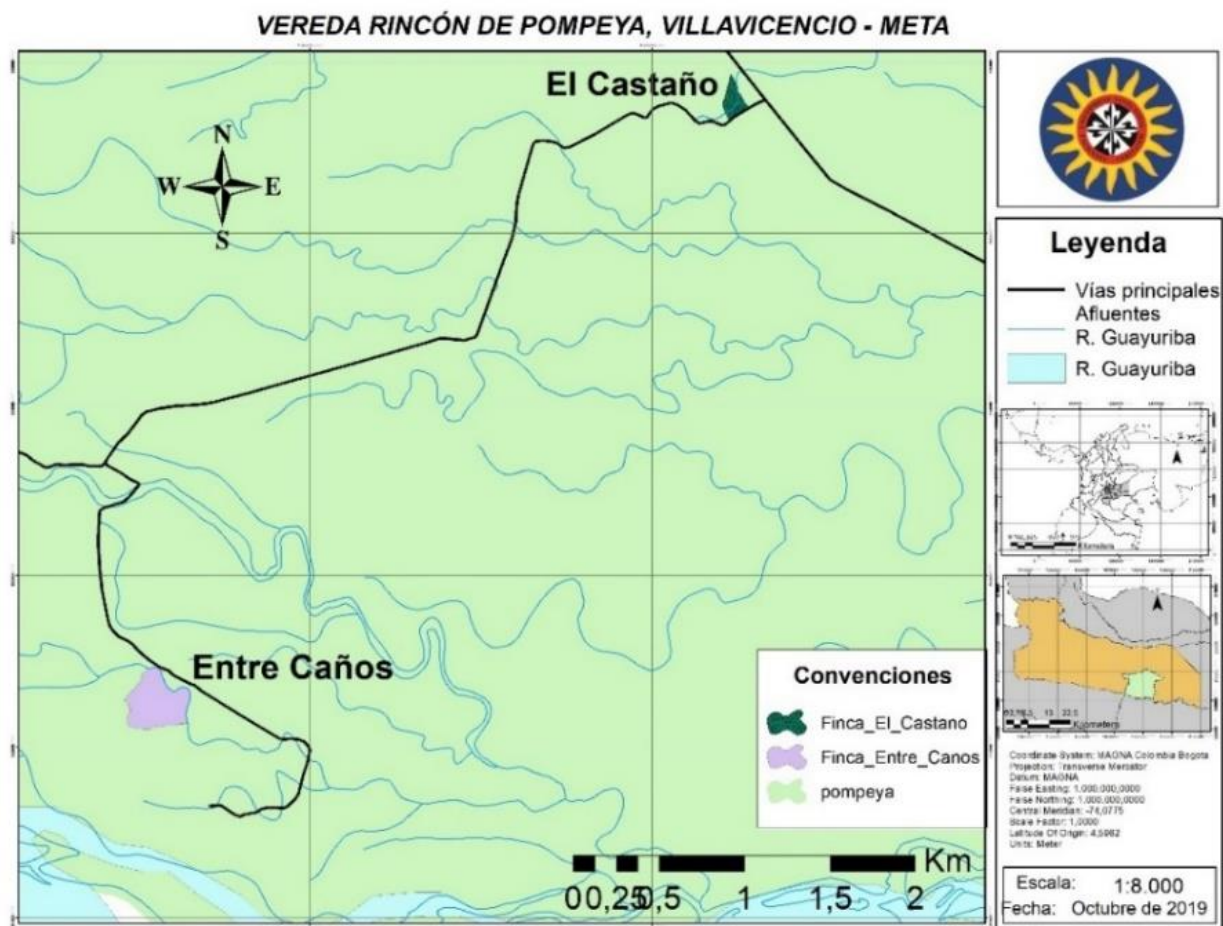
Observaciones: No reporta

Realizó: Edgar A. Avendaño (Qco)
 Coordinador Técnico

Aprobó: Prof. Martha C. Henao
 Coordinadora de laboratorio

Está prohibida la reproducción total o parcial de este reporte sin previa autorización escrita del laboratorio

Anexo E. Mapa Base. Elaboración a partir de ArcGIS 10.4



Fuente: Adaptado por P. Silva, 2019