



**CUANTIFICACIÓN DE METALES PESADOS EN ARÁNDANOS
(*VACCINIUM CORYMBOSUM*) CULTIVADOS EN DOS FINCAS
UBICADAS EN VILLAPINZÓN Y SIBATÉ.**

Laura Valentina Mateus Suarez

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, 15 de Noviembre del 2020

**CUANTIFICACIÓN DE METALES PESADOS EN ARÁNDANOS
(*VACCINIUM CORYMBOSUM*) CULTIVADOS EN DOS FINCAS
UBICADAS EN VILLAPINZÓN Y SIBATÉ.**

Laura Valentina Mateus Suárez

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Ambiental

Director (a):
Oscar Eduardo Rodríguez Aguirre

Línea de Investigación:
Nombrar la línea de investigación en la que se enmarca el trabajo de investigación

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, Colombia
2020

Acta de sustentación

Nota de Salvedad de Responsabilidad Institucional

La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velará por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia.

(Dedicatoria)

A Dios, porque sin Él, nada sería posible, a mis padres que me han apoyado durante toda mi vida, especialmente a mi mamá, que siempre me apoyó con su amor y entrega incondicional.

Agradecimientos

Quiero agradecer a la universidad El Bosque, al profesor Oscar Eduardo Rodriguez, que me acompañó durante todo el proceso de la investigación y sus aportes fueron claves para la realización de la misma. A Crispin Celis de la Pontificia Universidad Javeriana, a Sandra Forero de la universidad EAN y a Luis Miguel Pombo de la Fundación Universitaria Juan N. Corpas que apoyaron esta investigación, aportando sus conocimientos y el préstamo de laboratorios y equipos necesarios para culminar este trabajo.

También quiero agradecer a la profesora Milena Fuentes Cotes, quien con su amor y entrega tanto en el aula como fuera de ella, me enseñó no solo para el momento ni la ingeniería, sino para la vida, y me ayudó a definir el concepto de ingeniera que quiero ser para la sociedad, teniéndola a ella como Sensei.

A Edith Alayón, John Fredy Arias, Gustavo Contreras, Carel Carvajal y Arturo Lievano, personas que indirectamente ayudaron a la realización de esta investigación, pues a lo largo de toda la carrera, me brindaron sus conocimientos que ayudaron a mi formación profesional.

Finalmente a Luis, que con su amor siempre estuvo apoyándome durante toda la carrera, y me incentivo a ser mejor estudiante cada día.

Índice

<i>Introducción</i>	13
<i>Planteamiento del problema</i>	14
<i>Objetivos</i>	16
3.1 <i>Objetivo general del proyecto.</i>	16
3.2 <i>Objetivos Específico</i>	16
<i>Justificación</i>	17
<i>Marcos de referencia</i>	18
5.1 <i>Antecedentes</i>	18
5.2 <i>Estado del arte</i>	19
5.3 <i>Marco conceptual</i>	24
5.3.2 <i>Bioacumulación.</i>	24
5.3.3 <i>Absorción Atómica.</i>	24
5.3.4 <i>Salud pública.</i>	24
5.3.5 <i>Inocuidad alimentaria.</i>	24
5.3.6 <i>Salud ambiental.</i>	25
5.4 <i>Marco teórico</i>	25
5.5 <i>Marco Geográfico</i>	27
5.6 <i>Marco Normativo</i>	31
5.7 <i>Marco institucional.</i>	32
<i>Metodología</i>	33
13. <i>Resultados y análisis de resultados</i>	43
13.1. <i>Resultados y análisis de resultados del objetivo específico 1: Cuantificar las concentraciones de metales pesados (Cr, Co, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, Cd, As, y Cu) bioacumulados en arándanos cultivados en Villapinzón y Sibaté por la técnica de absorción atómica.</i>	43
13.2. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 2: <i>Determinar la concentración de metales pesados (Cr, Co, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, Cd, As, y Cu) en los suelos donde se cultivan los arándanos de Villapinzón y Sibaté y establecer el porcentaje de transferencia de los metales del suelo al fruto.</i>	48
13.2.1. <i>Porcentaje de transferencia de los metales del suelo al fruto</i>	51
13.3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL OBJETIVO ESPECÍFICO N°3: <i>Analizar las concentraciones de metales pesados en los arándanos con relación a la normatividad nacional e internacional y determinar las incidencias en la salud pública.</i>	53
14. <i>Conclusiones</i>	56
15. <i>Recomendaciones</i>	57

16. Referencias

58

17. Anexo

65

Listado de Ilustraciones

<i>Ilustración 1</i> Esquema básico de un espectrómetro de AA	27
<i>Ilustración 2</i> Departamento de Cundinamarca	28
<i>Ilustración 3</i> Municipios de la cuenca del río Bogotá	29
<i>Ilustración 4</i> Ubicación de Villapinzón en Cundinamarca	29
<i>Ilustración 5</i> Ubicación de Sibaté en Cundinamarca	30
<i>Ilustración 6</i> Organigrama Institucional	33
<i>Ilustración 7</i> Organigrama Diseño Secuencial	33
<i>Ilustración 8</i> Diagrama de flujo del proceso metodológico	34
<i>Ilustración 9</i> Visita y toma de muestras cultivo Villapinzón	36
<i>Ilustración 10</i> Ubicación Geográfica de punto de muestreo en Villapinzón.	37
<i>Ilustración 11</i> Zoom punto de muestreo Villapinzón	37
<i>Ilustración 12</i> Visita y toma de muestras cultivo Sibaté	38
<i>Ilustración 13</i> Georreferenciación cultivo de arándanos en Sibaté.	38
<i>Ilustración 14</i> Zoom punto de muestreo Sibaté	38
<i>Ilustración 15</i> Preparación de muestras para cuantificación de metales	39

Tabla de Gráficas

<i>Grafica 1 Concentración de metales pesados en las muestras de Villapinzón y Sibaté</i>	44
<i>Grafica 2 Correlación Spearman de la muestra de material vegetal de Villapinzón</i>	45
<i>Grafica 3 Correlación Spearman de la muestra de material vegetal de Sibaté</i>	47
<i>Grafica 4 Concentración de metales pesados en muestras de suelo de Villapinzón y Sibaté</i>	50
<i>Grafica 5 Porcentaje de transferencia de metales al fruto</i>	51
<i>Grafica 6 Intervalos de concentración de las concentraciones de metales pesados de las muestras de suelo y material vegetal de Villapinzón y Sibaté</i>	67
<i>Grafica 7 Intervalos de concentración de las concentraciones de metales pesados de las muestras de suelo y material vegetal de Villapinzón y Sibaté (cadmio)</i>	68
<i>Grafica 8 Intervalos de concentración de las concentraciones de metales pesados de las muestras de suelo y material vegetal de Villapinzón y Sibaté (zinc)</i>	69
<i>Grafica 9 Intervalos de concentración de las concentraciones de metales pesados de las muestras de suelo y material vegetal de Villapinzón y Sibaté (plomo)</i>	70
<i>Grafica 10 Intervalos de concentración de las concentraciones de metales pesados de las muestras de suelo y material vegetal de Villapinzón y Sibaté (níquel)</i>	71
<i>Grafica 11 Intervalos de concentración de las concentraciones de metales pesados de las muestras de suelo y material vegetal de Villapinzón y Sibaté (manganeso)</i>	72
<i>Grafica 12 Intervalos de concentración de las concentraciones de metales pesados de las muestras de suelo y material vegetal de Villapinzón y Sibaté (hierro)</i>	73
<i>Grafica 13 Intervalos de concentración de las concentraciones de metales pesados de las muestras de suelo y material vegetal de Villapinzón y Sibaté (cobre)</i>	75

Listado de Tablas

<i>Tabla 1 Artículos revisados relevantes</i>	19
<i>Tabla 2 Marco legal referente a metales pesados y agricultura</i>	32
<i>Tabla 3 Organigrama matriz con objetivos.</i>	40
<i>Tabla 4 Plan de trabajo.</i>	42
<i>Tabla 5 Concentración de metales pesados en Arándanos</i>	43
<i>Tabla 6 Factor de correlación de Spearman del material vegetal de Villapinzón</i>	46
<i>Tabla 7 Factor de correlación de Spearman del material vegetal de Sibaté</i>	47
<i>Tabla 8 Concentración de metales pesados en muestras de suelos en Villapinzón y Sibaté</i>	50
<i>Tabla 9 Porcentaje de transferencia de metales desde el suelo al fruto</i>	51
<i>Tabla 10 Valores máximos permitidos para concentración de metales pesados en alimentos.</i>	53
<i>Tabla 11 Curva de calibración con patrones Merck para arsénico en equipo Varian</i>	65
<i>Tabla 12 Intervalos de concentración de las concentraciones de metales pesados de las muestras de suelo y material vegetal de Villapinzón y Sibaté</i>	66
<i>Tabla 13 Cobalto arsénico en arándanos (fruto) y suelos de Villapinzón y Sibaté.</i>	66
<i>Tabla 14 Datos curva de calibración con patrones Merck para cadmio equipo Varian</i>	68
<i>Tabla 15 Datos curva de calibración con patrones Merck para zinc equipo Varian</i>	69
<i>Tabla 16 Datos curva de calibración con patrones Merck para plomo equipo Varian</i>	70
<i>Tabla 17 Datos curva de calibración con patrones Merck para níquel equipo Varian</i>	71
<i>Tabla 18 Datos curva de calibración con patrones Merck para manganeso equipo Varian</i>	72
<i>Tabla 19 Datos curva de calibración con patrones Merck para hierro equipo Varian</i>	73
<i>Tabla 20 Datos curva de calibración con patrones Merck para cromo equipo Varian</i>	74
<i>Tabla 21 Datos curva de calibración con patrones Merck para cobre equipo Varian</i>	75

Resumen

Teniendo en cuenta los diversos estudios que han puesto en evidencia la presencia metales pesados, a lo largo de la cuenca del río Bogotá, y que, en algunos casos, el agua se emplea en sistemas de riego de diversos cultivos, nace la necesidad de conocer si los alimentos pueden llegar a tener concentraciones de dichos elementos tóxicos. Por esto el objetivo principal de esta investigación fue evaluar las concentraciones de metales pesados (Cr, Co, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, Cd, As, y Cu) en Arándanos cultivados en dos puntos estratégicos de Cundinamarca que hacen parte de la cuenca del río Bogotá.

Para cumplir con el objetivo de esta investigación se tomaron las muestras de Arándanos y suelos donde fueron cultivados, las cuales pasaron por un proceso llamado digestión ácida previa a la cuantificación de las concentraciones de los metales pesados (Cr, Co, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, Cd, As, y Cu) la cual se realizó en los laboratorios de la Pontificia Universidad Javeriana y la Universidad EAN siguiendo el método instrumental de Espectrofotometría de absorción atómica utilizando los equipos varían AA-140 y Shimadzu AA-7000; los resultados obtenidos se analizaron consultando literatura nacional e internacional lo cual permitió establecer que las concentraciones de Cd y Pb superaron los límites máximos establecidos en la normatividad Colombiana y que las concentraciones de todos los metales en los suelos se encuentran por debajo de los valores sugeridos por autores extranjeros, sin embargo, como una de las conclusiones de esta investigación se debe resaltar que hace falta establecer valores de referencia en los suelos de Colombia.

Palabras clave: Contaminación del Agua, Contaminación del suelo, Metales pesados, Arándano, Río Bogotá, Seguridad alimentaria.

Abstract

Taking into account the various studies that have revealed the presence of heavy metals, along the Bogotá river basin, and that in some cases, the water is used in irrigation systems for various crops, the need arises to know if food can have concentrations of these toxic elements. For this reason, the main objective of this research was to evaluate the concentrations of heavy metals (Cr, Co, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, Cd, As, and Cu) in Blueberries grown in two strategic points of Cundinamarca that are part of the Bogotá river basin.

To meet the objective of this research, samples of Blueberries and soils where they were cultivated were taken, which went through a process called acid digestion prior to the quantification of the concentrations of heavy metals (Cr, Co, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, Cd, As, and Cu) which was carried out in the laboratories of the Pontificia Universidad Javeriana and the EAN University following the instrumental method of atomic absorption Spectrophotometry using the varian aa-140 and shimadzu aa-7000 equipment; The results obtained were analyzed by consulting national and international literature, which allowed establishing that the concentrations of Cd and Pb exceeded the maximum limits established in the Colombian regulations and that the concentrations of all metals in the soils are below the values suggested by foreign authors, however, as one of the conclusions of this research it should be noted that it is necessary to establish reference values in the soils of Colombia.

Keywords: Water Pollution, Soil Pollution, Heavy Metals, Gooseberry, Bogotá River, Food Security.

1. Introducción

La contaminación del agua por metales pesados ocasionada por vía antrópica y natural, está afectando de manera significativa la seguridad alimentaria y por ende la salud pública. (Huang et. al, 2014). En Colombia se han hallado suelos, a través del tiempo que han sufrido procesos de contaminación con metales pesados tóxicos, entre estos elementos se registran el cadmio (Cd), el cromo (Cr), el mercurio (Hg), el plomo (Pb), el arsénico (As) y el selenio (Se) (Lora, 2007). Dicha contaminación en suelos y agua por estos metales, es el producto de la explotación y la fundición de metales, de insumos agrícolas, lodos y sedimentos residuales, combustión de carbón y petróleo, industrias químicas y una mala disposición de desechos urbanos e industriales. (Muchuweti et al, 2006).

Estudios que se han realizado acerca de suelos y hortalizas cultivadas en la cuenca del río Bogotá, han puesto en evidencia la presencia de elementos tóxicos, como Hg, Pb, Cd, Cr, As, entre otros. Lo anterior sucede porque en algunos casos, el agua del río Bogotá se emplea en sistemas de riego, lo cual hace que exista un proceso activo de contaminación de metales pesados en suelos y cultivos de esta zona. (Reyes et al., 2016).

Además, dicho problema tiene grandes connotaciones tanto en la salud ambiental como en la inocuidad alimentaria, ya que al tener poca investigación sobre este tópico en el país, no se le da la importancia y no se mira la magnitud que tiene la inclusión de los metales pesados en la cadena trófica, lo cual puede llegar a tener incidencias en la salud de las personas que consumen dichos alimentos.

Por otra parte, es fundamental resaltar que, dependiendo del tipo de metal o metaloide, se producen afecciones que van desde daños en órganos vitales hasta desarrollos cancerígenos (Nava-Ruíz & Méndez Armenta 2011). Es por ello que en esta investigación se resalta la importancia de conocer las concentraciones de dichos metales en alimentos que posteriormente serán consumidos, en este caso el Arándano, ya que particularmente en Colombia no se han realizado muchos estudios específicamente en Arándanos, por tal razón este proyecto busca evaluar las concentraciones de metales pesados (Cr, Co, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, Cd, As, y Cu) en arándanos que se cultivan en Villapinzón y Sibaté con el fin de dar a conocer esta problemática y aportar investigación que sirva posteriormente para la toma de decisiones frente a la salud pública en términos de salud ambiental e inocuidad alimentaria.

2. Planteamiento del problema

De acuerdo a Reyes et al. (2016) la contaminación por metales pesados y metaloides en recursos hídricos, suelos y aire plantea una de las más severas problemáticas que comprometen la seguridad alimentaria y salud pública a nivel global y local, Así mismo como se cita en Díaz et al. (2019) menciona que la presencia de metales pesados tales como (Cr, Cd, Ni, Cu, Pb, Zn, Mn, Hg) y otros, ha sido mencionada en numerosos trabajos científicos que los vinculan con variados organismos u órganos, los que muchas veces se ocupan como indicadores de contaminación ambiental Así, por ejemplo, la presencia de ciertos metales pesados en algunas especies de algas, moluscos o peces, se utilizan para evaluar el grado de contaminación del ambiente acuático.

Lo anterior para el caso de este proyecto se da por las actividades antrópicas que se realizan en la cuenca alta del Río Bogotá, primeramente, con la contaminación del agua del río Bogotá por los vertimientos que realizan las curtiembres ubicadas en esta zona y posteriormente, los agricultores que riegan sus cultivos a lo largo de la cuenca del río Bogotá con dicha agua. (Miranda, 2008).

Si bien la literatura ya expresa la contaminación de los alimentos por metales pesados, actualmente hay poca investigación relacionada con la evaluación y cuantificación de metales pesados en Arándanos, ya que no se encontraron muchos reportes o documentos que expresaran la contaminación con metales pesados de Arándanos cultivados en Colombia, específicamente en Villapinzón y Sibaté. Según lo investigado por (Saad, 2019) para el año en que realizó su investigación encontró que en los últimos 29 años se realizó un total de 144 investigaciones relacionadas con metales pesados en el río Bogotá; lo cual conlleva a un desconocimiento y falta de consciencia respecto a este evidente problema de la contaminación con metales pesados, sumándole a ello que no todas las 144 investigaciones se basaron en cuantificar concentraciones de metales pesados en alimentos.

Por otra parte, la falta de investigación o interés en la contaminación de los alimentos con agentes tóxicos como los metales pesados, ha incurrido en el olvido del estado colombiano frente a creación de normatividad que regule los valores máximos permitidos en alimentos, lo que representa grandes connotaciones negativas tanto en la salud ambiental como la inocuidad alimentaria del país.

2.1 Pregunta de investigación

¿Los arándanos cultivados en Villapinzón y Sibaté presentan concentraciones de metales pesados (Cr, Co, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, Cd, As, y Cu) superiores a la normativa nacional e internacional?

2.2 Hipótesis nula

Los arándanos cultivados en Sibaté y Villapinzón presentan concentraciones de metales pesados (Cr, Co, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, Cd, As, y Cu) superiores a lo establecido en la normatividad nacional e internacional

2.3 Hipótesis alternativa

2.3.1 Hipótesis alternativa 1

Los arándanos cultivados en Sibaté y Villapinzón no presentan concentraciones de metales pesados (Cr, Co, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, Cd, As, y Cu) superiores a lo establecido en la normatividad nacional e internacional.

2.3.2 Hipótesis alternativa 2

Los arándanos cultivados en Sibaté presentan mayor concentración de metales pesados (Cr, Co, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, Cd, As, y Cu) que los cultivados en Villapinzón.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general del proyecto.

Evaluar las concentraciones de metales pesados (Cr, Co, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, Cd, As, y Cu) en Arándanos cultivados en una finca ubicada en el municipio de Villapinzón, Cundinamarca y otra en el municipio Sibaté, Cundinamarca.

3.2 Objetivos Específico

1. Cuantificar las concentraciones de metales pesados (Cr, Co, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, Cd, As, y Cu) bioacumulados en arándanos cultivados en Villapinzón y Sibaté por la técnica de absorción atómica.
2. Determinar la concentración de metales pesados (Cr, Co, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, Cd, As, y Cu) en los suelos donde se cultivan los arándanos de Villapinzón y Sibaté estableciendo el porcentaje de transferencia de los metales desde el suelo al fruto.
3. Analizar las concentraciones de metales pesados en los arándanos con relación a la normatividad nacional e internacional y determinar las incidencias en la salud pública.

4. Justificación

Es importante realizar este proyecto para poder ampliar la investigación frente a las posibles concentraciones de metales pesados en Arándanos que son cultivados en los municipios de Villapinzón y Sibaté, esto, con el fin de obtener datos cuantitativos que puedan ser comparados con los niveles máximos permitidos u óptimos según normatividad nacional e internacional, de las concentraciones de (Cr, Co, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, Cd, As, y Cu) en Arándanos cultivados en Villapinzón y Sibaté, puesto que el poder contar con este tipo de información permitirá una toma de decisiones más eficiente que podrá hacer frente, a cualquier riesgo o amenaza que se pueda presentar a nivel de salud.

Además, como menciona Lorduy (2019), Proplantas proyecta que entre 2019 y 2020 se sembrarán 870 hectáreas nuevas, produciéndose unas 7.700 toneladas, y se estima que en los próximos 4 años, Colombia ocupe el décimo puesto como país exportador de dicha fruta. Esta es una de las razones por las que es importante empezar a ampliar la investigación en este fruto, ya que, al dejar de ignorar la realidad, se puede empezar a trabajar en acciones que mitiguen la contaminación de estos frutos, y en general de los alimentos, con el fin de garantizar la inocuidad alimentaria tanto en el país, como en los países a los que se exporten los arándanos cultivados en estas zonas.

Finalmente se busca que esta investigación sea capaz de sensibilizar a las personas sobre dicha problemática e incentivar la investigación frente a estos tópicos y que a futuro se puedan generar estrategias para reducir la concentración de los metales pesados en la cadena trófica y directamente reducir los riesgos de padecer enfermedades como el cáncer a causa de la bioacumulación de metales pesados. Dicho de tal manera también se podría reducir los gastos que el sistema de salud emplearía para tratar este tipo de enfermedades. Para finalizar, también se busca sensibilizar a las autoridades ambientales para generar un plan de reducción de metales pesados en la cuenca del río Bogotá, lo cual esta iniciativa puede ser replicada en otras cuencas como la del río Magdalena o el río Cauca.

5. Marcos de referencia

5.1 Antecedentes

Como se mencionó en la problemática planteada anteriormente, y de acuerdo a lo obtenido en la investigación realizada por Zaad (2019) acerca de la tendencia en la investigación sobre metales pesados y afectación en el río Bogotá, si bien la investigación en el país sobre este tópico es baja a continuación se expondrán diferentes producciones relevantes en el tema.

El estudio y evaluación del impacto de la contaminación en la salud por el embalse del Muña, ubicado en Sibaté cerca a Bogotá (Sarmiento et al. 1999). Expone la presencia de metales pesados en varios vegetales de los alrededores del embalse del Muña entre los cuales se menciona la fresa, la espinaca, la lechuga, la coliflor, entre otros más; por otra parte en su discusión expresan que los metales pesados pueden ser absorbidos por las personas de manera directa e indirecta, para el caso de la ingestión de alimentos contaminados con metales pesados sería una absorción indirecta. En un estudio realizado en cultivos hortícolas establecidos en la Sabana de Bogotá se puso en evidencia que los alimentos estudiados acumularon metales con valores que superan la normatividad de la unión europea. (Miranda, Carranza, Rojas, Jerez, Fischer & Zurita 2008). En este estudio para la determinación de los metales pesados usaron el método de espectrofotometría de absorción atómica usando el espectrofotómetro marca Varian Spectra AA 220 FS.

En un estudio realizado por Izquierdo, & Verástegui, (2017) titulado: concentración de metales pesados (as, cd, cr, hg y pb) en el agua de la cuenca baja del río Jequetepeque, en relación a los estándares de calidad del agua - categoría 3, Cajamarca - 2016. El objetivo de esta investigación radicó en conocer y evaluar la realidad actual en la que se encuentra la calidad del agua superficial de la cuenca baja del río Jequetepeque, determinando la concentración de metales pesados As, Cd, Cr, Hg y Pb en el agua de la cuenca baja del río Jequetepeque. Al final de la investigación se obtuvo que los puntos de muestreo con más concentración de metales pesados en las diferentes épocas fueron: Para As, el punto con mayor concentración fue en el punto de muestreo P4:0,006mg/L en época de estiaje. Para Cd, los puntos de muestreo P2, P3, P4, P5 y P6, se obtuvo una misma concentración de 0,001mg/L en época de lluvia. En el caso de Pb, el punto con mayor concentración fue el P6:0,007mg/L en época de lluvia.

Por otro lado, Lizarazo et al. (2020) realizó una investigación en donde se recolectaron muestras de perejil, alcachofa y zanahoria cultivadas en un lugar cercano al embalse del Muña, con la finalidad de determinar la seguridad alimentaria, en muestras de diferentes partes vegetales, y del suelo circundante. Al separar las muestras, para la digestión ácida fría con HCl y HNO_3 (1: 1) durante 15 días, el error estándar medio (EE) de los metales pesados fue, en miligramos por kilogramos de planta: 2,36; 0,185, Cd 0.16 0.009, Co 0.43 0.019, Cr 12.1 0.453, Cu 13.1 1.68, Ni 0.00, Pb 7.07 0.482 y Zn 3.976 0.332. Cd, Cr, As, Co y Ni, mostraron un alto factor de transferencia en *Cynara scolymus*. Además, altos niveles de Pb, Cu y Zn estaban presentes en *Petroselinum crispum*, exceptuando las raíces de *Daucus carota*, en la cual hubo una alta transferencia de metal específicamente en hojas de *Petroselinum crispum* y otras diferentes partes de la planta, con alto factor de transferencia para Cr, As, Co, Pb, Cu y Zn.

5.2 Estado del arte

En esta parte de la monografía se encontrarán con diversos artículos relevantes que fueron seleccionados después de una ardua revisión bibliográfica acerca de la contaminación de metales pesados, las implicaciones que tiene en la salud de las personas al estar presentes en la cadena trófica y la investigación que se ha realizado respecto a posibles soluciones para disminuir las concentraciones de metales pesados en los suelos, como la fitorremediación.

Tabla 1 Artículos revisados relevantes

N°	Año	Título	Resultados	cita
1	2005	Fitorremediación: la alternativa para absorber metales pesados de los biosólidos	La fitorremediación constituye una alternativa eficaz y económica para realizar procesos de descontaminación de metales pesados en biosólidos, sin causar deterioro en los suelos en los que son aplicados, disminuyendo la contaminación no solo del suelo, sino también del agua y de los que a partir del suelo, pueden llegar a cualquier organismo vivo. Los datos obtenidos en función del origen geográfico de las muestras indicaron fuertes diferencias no sólo en términos de las concentraciones totales de Cd y Pb, sino también con respecto a la biodisponibilidad de estos metales. Las concentraciones de Cd en los polvos de cacao variaron de 94 a 1833 kg g ⁻¹ , de los cuales 10-50% era potencialmente biodisponible. La biodisponibilidad de Pb era generalmente por debajo de 10% y las concentraciones medidas en los polvos de cacao estaban en los 11-769 mg kg ⁻¹ gama. Prácticamente todo el Cd y la mayoría de Pb fueron encontrados en el cacao en polvo después del prensado del licor.	(Betancu et al., 2005)
2	2010	Concentrations and bioavailability of cadmium and lead in cocoa powder and related products	Los datos obtenidos en función del origen geográfico de las muestras indicaron fuertes diferencias no sólo en términos de las concentraciones totales de Cd y Pb, sino también con respecto a la biodisponibilidad de estos metales. Las concentraciones de Cd en los polvos de cacao variaron de 94 a 1833 kg g ⁻¹ , de los cuales 10-50% era potencialmente biodisponible. La biodisponibilidad de Pb era generalmente por debajo de 10% y las concentraciones medidas en los polvos de cacao estaban en los 11-769 mg kg ⁻¹ gama. Prácticamente todo el Cd y la mayoría de Pb fueron encontrados en el cacao en polvo después del prensado del licor.	(Mounicoi, et al, 2010)
3	2010	Remediación de un suelo de la cuenca alta del río Bogotá contaminado con los metales pesados cadmio y cromo.	Se encontró que el contenido de Cd y de Cr de lechuga y de pasto era elevado en el testigo. Para ryegrass, la aplicación de 6000 Kg de CaCO ₃ o de 400Kg de FeSO ₄ rebajó significativamente, su contenido. Para lechuga, la aplicación de 6000 Kg de CaCO ₃ o de 2000Kg de diatomácea activada disminuyó, representativamente, el Cd en la planta. Para el Cr, el CaCO ₃ o el FeSO ₄ a niveles de 2000 Kg y 400 Kg, respectivamente, redujeron	(Lora, 2010)

			significativamente su contenido en la planta.	
4	20 10	Uso del vetiver para la fitorremediación de cromo en lodos residuales de una tenería.	En cuanto a el <i>Chrysopogon zizanioides</i> (Vetiver) es una planta herbácea, perenne, de acelerado desarrollo. Cuando las plantas de vetiver son sembradas cercanamente, forman una barrera porosa efectiva para atrapar sedimentos, reducir la velocidad de flujo y guiar los cauces. Así, debido a sus extraordinarias características morfológicas y fisiológicas, el pasto vetiver ha sido usado exitosamente para la rehabilitación de áreas degradadas como rellenos sanitarios, rehabilitación de desechos mineros, fitorremediación de escombreras y desechos rocosos en minas de carbón.	(Torres D. & Cumana A. 2010).
5	20 10	Determinación de metales pesados cadmio y plomo en suelos y granos de cacao frescos y fermentados, mediante espectroscopia de absorción atómica de llama.	Las tendencias observadas demuestran que el cadmio está distribuido uniformemente en el suelo, cuando su concentración es elevada. Se encontró un rango de concentración de cadmio de 0.33 a 6.00 mg/kg en los suelos analizados, probablemente su presencia se debe a los procesos de formación de suelos de la región (Formación Umir). En los suelos agrícolas de la región de San Vicente de Chucurí que fueron analizados se encontró que el contenido de plomo oscilaba en un rango de 0.15 a 14.15 mg/kg de este elemento. Estas concentraciones no superan los valores establecidos para suelos que se consideran contaminados donde su valor establecido es mayor a 50 mg/kg de plomo. La Fitoextracción es una solución para la remoción de contaminantes que no pueden ser degradados. Se deben considerar dos factores importantes para que una planta sea un buen fitoextractor: su biomasa y su eficiencia de bioconcentración. A pesar de que existen plantas hiperacumuladoras que son buenas candidatas para la fitorremediación, muchas de ellas poseen poca biomasa, por lo que el uso de la ingeniería genética permite transferir y sobre expresar los genes de bacterias, levaduras o animales que promueven la hiperacumulación en ciertas plantas que tienen una gran biomasa.	Martínez, G.; Palacio, C. (2010)
6	20 11	Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación		(Delgadillo, et al, 2011)

7	20 11	Evaluación de la contaminación por cadmio y plomo en agua, suelo, y sedimento y análisis de impactos ambientales en la subcuenca del río balsillas afluente del río Bogotá.	Las concentraciones de Cadmio presentes en el cuerpo de agua, sobrepasan los valores límites, establecidos en el Acuerdo 043 de 2006, excepto en los puntos de muestreo 1 y 4. En el punto de muestreo 1, las concentraciones pueden deberse a la poca presencia de vertimientos con contenido de cadmio, además este se caracteriza por ser un punto cercano al nacimiento del río; de igual forma, en el punto de muestreo 4, la concentración de Cadmio presenta un valor relativamente bajo, posiblemente porque las industrias de la zona consumen insumos y materia prima con poco o ningún contenido de cadmio, generando posible dilución de las concentraciones provenientes del punto 3.	(Acosta y Montilla, 2011)
8	20 12	Los efectos del cadmio en la salud	Se ha atribuido al cadmio un incremento en la incidencia de cáncer de próstata y del aparato respiratorio en trabajadores expuestos prolongadamente, en especial al óxido de cadmio. En un número limitado de estudios epidemiológicos, se han examinado las asociaciones entre el cadmio y la aparición de otros cánceres dependientes de hormonas, como los de mama y endometrio. Se han descrito modificaciones cromosómicas en estudios experimentales y en observaciones de personas expuestas continuamente al cadmio, pero hasta ahora no se han observado alteraciones teratogénicas en los hijos de éstas. En un estudio presentado en México en el año 2001, se encontró que existía una correlación de 8 entre las concentraciones de cadmio en la sangre de la madre y las del cordón umbilical.	(Esmeralda y azcona, 2012)
9	20 12	Presencia de metales pesados en cultivo de cacao (Theobroma cacao L.) orgánico.	Se realizaron análisis de correlación de Pearson entre los contenidos de plomo y cadmio disponibles en el suelo con variables foliares (P, Mg, Ca, Zn, Cd, Pb) y del suelo (arena, arcilla y K). En los suelos, sólo en el caso de potasio se presentan deficiencias; mientras que en el tejido foliar se presentaron deficiencias de N, P, K, Mg y Zn. Los valores promedio de cadmio y plomo disponible en los suelos fueron 0.53 y 3.02 ppm y en las hojas de cacao de 0.21 y 0.58 ppm respectivamente.	(Huamaní et al 2012).

1 0	20 13	Procedimiento analítico para la determinación de metales pesados en zanahoria y espinaca cultivadas en organopónicos urbanos	En el artículo expresan como resultados que los valores para Cd y Pb es mayor que el límite máximo permisible reportados por el reglamento 420 del 2011 de la Unión Europea para vegetales frescos.	(Garrido, et al 2013).
1 1	20 15	Determinación de los niveles de plomo y cadmio en leche procesada en la ciudad de Bogotá D.C.	La determinación de las concentraciones de metales residuales en la leche puede ser un indicador importante directo de la condición higiénica e inocua de la leche y/o de sus productos derivados, así como un indicador indirecto del grado de la contaminación del medio ambiente en el que se produce la leche. Por otra parte, la absorción de Cd por las plantas en suelos contaminados y su incorporación a la cadena alimenticia, tiene actualmente mucha importancia debido a que este elemento puede alterar el metabolismo humano compitiendo con el Fe, Cu, Zn, Mn y Se por ligantes en los sistemas biológicos. Adicionalmente el Cd divalente disminuye significativamente la absorción intestinal del Fe en el cuerpo humano.	(Pinzon, 2015)
1 2	20 16	Cuantificación voltamétrica de plomo y cadmio en papa fresca.	Como resultado principal se obtuvo que la concentración de plomo y cadmio en las muestras analizadas estuvieron entre un rango de 0,111 a 0,304ppm, que sobrepasa los límites máximos establecidos por las normas nacionales e internacionales, vigentes para papa de consumo humano. Por otra parte, como fue un estudio exploratorio y aleatorio no se puede demostrar específicamente de dónde provienen estos metales, pero, en forma general, la contaminación del suelo por metales pesados es a menudo consecuencia directa o indirecta de las actividades antropogénicas.	(Moreno, et al, 2016)
1	20	Contaminación por metales	A nivel global y local se identifica un creciente problema de contaminación por metales	(Reyes, et

3	16	pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria	pesados, que compromete severamente la salud, seguridad alimentaria y medio ambiente. Los estudios demuestran que la leche de bovinos que pastorean e ingieren agua, pastos o forrajes contaminados por metales pesados (Hg, As, Cd y Pb) influye sobre las concentraciones de dichos elementos en la leche y carne. De igual manera las condiciones de cultivo influyen en la concentración de metales pesados sobre las diferentes matrices (aire, agua, suelo y plantas). Los límites máximos permisibles de concentración de metales están muy bien establecidos en agua. Sin embargo, aún falta por definir los límites de concentración y riesgo de Hg, As y Cd en hortalizas, legumbres y cereales, para permitir estandarizar y consensuar los estudios de contaminación que se están realizando, así como los efectos tóxicos y en el ambiente.	al 2016)
1 4	20 16	Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal	La presencia de metales pesados en el ambiente y los alimentos de acuerdo con lo descrito pueden desencadenar diversas intoxicaciones causando daños irreparables en la salud humana y animal, tan graves como efectos teratogénicos, cáncer e incluso la muerte.	(LONDOÑO, et al 2016).
1 5	20 20	Absorción de plomo y cadmio por girasol de un suelo contaminado, remediado con enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost	En esta investigación los autores evidenciaron que la planta de girasol absorbió mayor cantidad de Pb y Cd en la raíz que en el tallo y su flor como lo demuestra la mayor acumulación de plomo y cadmio en la raíz de ésta	(Munive, et al, 2020).

Cómo se logra evidenciar en el estado del arte, se consiguió identificar plenamente que a raíz de la presencia de metales pesados en cualquier tipo de ser vivo de un ecosistema, la salud del ser humano se ve afectada por la concentración de dichos metales acumulados en animales y/o plantas que hacen parte de la alimentación diaria de las personas, un ejemplo de esto es el cáncer de próstata desarrollado por la altas concentraciones de cadmio en la leche o por la exposición directa a este metal pesado (Esmeralda & Azcona, 2012), alteraciones en el metabolismo del ser humano y

la disminución en la absorción del hierro en el cuerpo (Pinzón, 2015). Se ha encontrado además presencia de metales en plantas como la lechuga debido al riego con aguas que no se ajustan a la normatividad en la cual se regula la presencia de metales pesados y ocasiona una contaminación de los alimentos.

Como medida de mitigación de la problemática de presencia de metales pesados en los alimentos suelos y aguas, se han desarrollado técnicas como la fitorremediación la cual consiste en hacer uso de plantas con capacidad fitorremediadora, como son la especie el vatiller y el girasol, las cuales adsorben metales pesados en sus raíces. Sin embargo, no es una solución efectiva, ya que, si bien se puede biorremediar el suelo, no hay solución para degradar los metales que las plantas son capaces de adsorber.

5.3 Marco conceptual

5.3.1 Metales pesados.

Se definen como aquellos elementos químicos que tienen una densidad mayor que 5 g/cm⁻³ o cuyo número atómico es superior a 20 excepto los metales alcalinos y alcalinotérreos. (Reyes et al., 2016).

5.3.2 Bioacumulación.

En toxicología, la bioacumulación es el proceso por el cual se acumulan sustancias químicas en organismos vivos de forma que estos alcanzan concentraciones más elevadas que las concentraciones en su medio o en los alimentos. La bioacumulación va depender de cada sustancia y puede producirse a partir de fuentes abióticas (suelo, aire, agua), o bióticas (otros organismos vivos). (Velez, et al., 2012).

5.3.3 Absorción Atómica.

Técnica para determinar la concentración de un elemento metálico determinado en una muestra. Puede utilizarse para analizar la concentración de más de 62 metales diferentes en una solución. (AA.VV., 2007).

5.3.4 Salud pública.

La Salud Pública es la ciencia y el arte de impedir las enfermedades, prolongar la vida, fomentar la salud mediante el esfuerzo organizado de la comunidad. (Marquez, 2011).

5.3.5 Inocuidad alimentaria.

La inocuidad de los alimentos puede definirse como el conjunto de condiciones y medidas necesarias durante la producción, almacenamiento, distribución y preparación de los alimentos para asegurar que, una vez ingeridos no representen un riesgo apreciable para la salud. No se puede prescindir de la inocuidad de un alimento al examinar la calidad, dado que la inocuidad es un aspecto de la calidad. Todas las personas tienen derecho a que los alimentos que consumen sean inocuos. Es decir que no contengan agentes físicos, químicos o biológicos en niveles o de naturaleza tal, que pongan en peligro su salud. De esta manera se concibe que la inocuidad como un atributo fundamental de la calidad. (MinSalud, 2013).

5.3.6 Salud ambiental.

Conjunto de políticas, planificado y desarrollado de manera transectorial, con la participación de los diferentes actores sociales, que busca favorecer y promover la calidad de vida y salud de la población, de las presentes y futuras generaciones, y materializar el derecho a un ambiente sano, a través de la transformación positiva de los determinantes sociales, sanitarios y ambientales, bajo el enfoque metodológico de las fuerzas motrices o fuerzas impulsoras o propulsoras (FPPEEA, Fuerza Motriz, Presión, Estado, Exposición, Efecto sobre la salud humana y Acción). Modelo que identifica cinco niveles de causa y efecto para establecer las relaciones entre las condiciones ambientales y la salud. (Ministerio de Salud, 2012).

5.4 Marco teórico

En los últimos años los estudios de calidad de las aguas continentales (ríos, lagos, embalses, etc.) han tenido un creciente interés por fenómenos como: el incremento de la población en sus riberas, el creciente proceso de industrialización, los aportes de los sectores agrícolas, ganaderos y mineros (Reyes et. al, 2016.) La importancia que tiene el estudio de metales pesados en las diferentes matrices (Agua, suelo y aire) es por su toxicidad elevada, la alta persistencia y rápida acumulación por los organismos vivos y sus efectos que no se detectan fácilmente en un corto plazo. La toxicidad de estos metales pesados es proporcional a la facilidad de ser absorbidos por los seres vivos. En Colombia, durante el año 2013, se realizaron 169 muestreos de cadmio, 180 muestreos de cromo y plomo y 104 muestreos de mercurio (IDEAM, 2014). Con respecto al Cd las mayores concentraciones se identificaron en río Negro, río Bogotá y río Cararé. En los ríos Marmato, Bogotá, Cauca la Pintada, Achi y Pinillos registraron las concentraciones más altas en Pb.

5.4.1 Cuenca del río Bogotá

La cuenca del río Bogotá está localizada en el departamento de Cundinamarca el cual junto con los ríos Sumapaz, Magdalena, Negro, Minero, Suárez, Blanco, Gacheta y Macheta, conforman el grupo de corrientes de segundo orden del departamento. El agua del río Bogotá sale cristalina del páramo Guacheneque, pero a tan solo 6 kilómetros abajo entre el municipio de Villapinzón y Chocontá hay un asiento aproximado de 166 curtiembres. (Quintero & Martínez, 2010).

La práctica del curtido de cuero en el municipio de Villapinzón se ha practicado desde hace más de 150 años (Corredor, 2006), las cuales afectan notablemente la calidad el agua del río Bogotá, esto se da por los vertimientos que se realiza tanto de aguas negras como de residuos de curtiembres. Se ha diagnosticado la presencia de metales pesados en los diferentes suelos de la sabana de Bogotá, gracias a la investigación de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional, apoyado por Colciencias, se han encontrado que hortalizas como el apio, la lechuga, el repollo y el brócoli, se ven afectados por la contaminación que se encuentra en el suelo en la sabana, debido a que estos cultivos son regados con agua altamente contaminada del río Bogotá (Ministerio de educación, 2009).

El principal origen de los contaminantes, con énfasis en los metales son las actividades antrópicas que a lo largo de los años se han venido desarrollando, tales como: actividades agrícolas como sistemas de riego, fertilizantes, pesticidas, estiércol, enmiendas calizas y, sobre todo, lodos residuales de depuradoras. Las actividades industriales. La fabricación de baterías, las industrias de productos químicos, fármacos, pigmentos y tintes, el curtido de pieles, etc. producen distintos tipos de contaminantes. En general las áreas altamente industrializadas incluyen As, Cd, Cr, Hg, Fe, Ni,

Pb y Zn. Los Residuos domésticos, aproximadamente el 10% de la basura está compuesta por metales. Su enterramiento puede contaminar las aguas subterráneas, mientras que la incineración puede contaminar la atmósfera al liberar metales volátiles y como consecuencia contaminar los suelos. Por otra parte, los residuos no manejados, son una importante fuente de contaminantes para el suelo y las aguas superficiales (Miranda, 2008).

5.4.2 Los metales y sus afectaciones en la salud.

Los metales pesados son un grupo de elementos químicos que tienen una densidad mayor de 4 g/cm³ a 7 g/cm³. El término siempre suele estar relacionado con la toxicidad que los mismos presentan. Cabe aclarar que, entre los metales pesados hay dos grupos que son necesarios en pequeñas cantidades para los organismos, pero tóxicos una vez pasado cierto umbral. Entre ellos se incluye el As, B, Co, Cr, Cu, Mo, Mn, Ni, Se y Zn; y los metales pesados sin función biológica conocida, que son altamente tóxicos, y presentan la propiedad de acumularse en los organismos vivos, son principalmente Cd, Hg, Pb, Cu, Ni, Sb y Bi (Cordero, 2015).

El cadmio forma parte de la composición natural de algunas rocas y suelos, lo cual provoca una liberación al medio ambiente cercana a 25000 toneladas. Por otra parte, por vía antrópica las concentraciones en el ambiente pueden ser incrementadas significativamente. Ya que este metal tiene uso amplio en la industria y productos agrícolas, lo cual ha generado un aumento progresivo en su producción. El 5% del metal es reciclado y debido a su notable movilidad, provoca una importante contaminación ambiental (Marruecos et. al, 1993). La población está expuesta al cadmio por diversas vías: I) Oral, a través del agua y la ingesta de comida contaminada con este elemento (hojas de vegetales, granos, cereales, frutas, vísceras animales y pescado) (Nava & Méndez, 2011). En algunos países de Europa y Norteamérica la ingesta diaria de cadmio varía entre 10 y 40 µg/día. II) La inhalación de partículas durante actividades industriales en personas laboralmente expuestas, donde la concentración de cadmio puede tener valores superiores a 50 µg/L. III) Finalmente, por vía dérmica, aunque las concentraciones absorbidas son muy reducidas.

El cadmio que ingresa por vía respiratoria o por vía oral, se transporta a la sangre y se concentra en el hígado y el riñón. El cadmio tiene la capacidad de acumularse en estos órganos vitales lo que produce daños irreversibles aún para concentraciones reducidas. Además, el tiempo de permanencia en estos órganos puede ser muy elevado. Así, el tiempo de vida media del cadmio en el riñón puede alcanzar los 30 años. Al cadmio se le reconoce como uno de los metales pesados con mayor tendencia a acumularse en las plantas. La favorabilidad de acumulación de cadmio en las plantas ha llevado a considerarlas como potenciales candidatos para tareas de fitorremediación de este metal.

El plomo es un metal pesado que se ha utilizado durante muchos años debido a su resistencia a la corrosión, ductibilidad, maleabilidad y facilidad para formar aleaciones. El plomo es absorbido por inhalación, ingestión y a través de la piel (Nava & Méndez, 2011). Las principales vías de Contaminación por metales pesados: son: i) inhalación de partículas de plomo generadas por combustión de algunos materiales. ii) La ingestión de polvo, agua o alimentos contaminados (Zurera et. al, 1987). Tiende a distribuirse en diferentes órganos, tejidos, huesos y dientes, donde se va acumulando con el paso del tiempo (Sanín et. al, 1998).

El Arsénico (As) es un elemento ampliamente distribuido en la atmósfera, en la hidrosfera y en la biosfera, el cual está presente en cuatro estados de oxidación As(V), As(III), As(0) y As(-III).

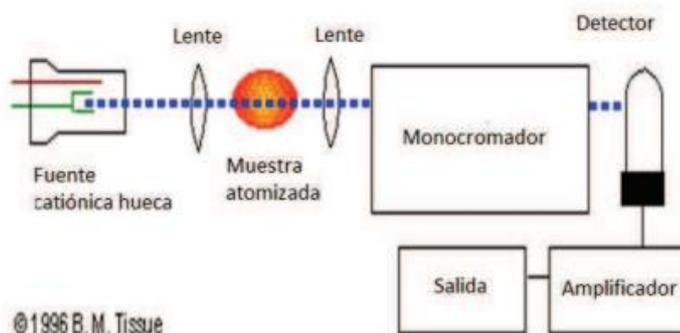
Los efectos toxicológicos del As no son bien conocidos y se especula sobre el proceso de transferencia a los seres humanos (D'Ambrosio, 2005). La arsenicosis o hidroarsenicismo crónico es una enfermedad que se presenta por elevadas concentraciones de As inorgánico y presenta diferentes afectaciones en la salud humana tales como problemas respiratorios, enfermedades cardiovasculares, gastrointestinales y efectos cancerígenos (pulmón, vejiga y piel) entre otras (Marruecos et. al, 1993).

El cromo es un metal que está naturalmente en rocas, suelo, plantas y animales; se puede encontrar en dos formas, cromo II, cromo III y cromo VI, siendo este último el más usado en la industria pues en esta forma contiene propiedades que lo hacen resistente a la corrosión (Téllez, 2004).

De acuerdo a lo anterior es importante resaltar y explicar el fundamento de la técnica por la cual se lleva a cabo la cuantificación de las posibles concentraciones de los metales pesados en las muestras de suelo y fruto seleccionadas para tal fin.

La espectroscopia de absorción atómica (AAS por sus siglas en inglés *Atomic Absorption Spectroscopy*), es una técnica extremadamente sensible, y específica debido a que las líneas de absorción atómica son considerablemente estrechas (de 0,002 a 0,005 nm) y las energías de transición electrónica son únicas para cada elemento (Skoog et al., 2001). Al igual que la FAAS, la sensibilidad de la absorción atómica por atomización de llama está en el orden de los ppm. En la industria cosmética tiene una enorme aplicación para determinaciones cualitativas y cuantitativas de metales pesados presentes en los productos.

Ilustración 1 Esquema básico de un espectrómetro de AA



(AA. VV., 2007)

La instrumentación básica para la AA se presenta en la Imagen 1, mostrando el instrumento usado para la cuantificación de analitos en solución. Este método está basado en la ley de Kirchoff, que defiende el siguiente enunciado: “la materia puede absorber o emitir luz a una cierta longitud de onda también absorberá luz a esa longitud de onda” (Remache Tixe, 2013, p. 22-25).

5.5 Marco Geográfico

La cuenca del río Bogotá juega un papel estratégico en la sabana del Centro del país, particularmente en actividades agrícolas, en industriales (Miranda et.al, 2011). La cuenca se divide en tres tramos: Cuenca alta, que inicia en el Páramo de Guacheneque y finaliza en Chía. La cuenca

media parte de Chía y finaliza en Sibaté. Finalmente, la Cuenca baja desemboca en el río Magdalena.

El área de estudio comprende un territorio ubicado en cuenca del río Bogotá, la cual está localizada en el departamento de Cundinamarca que junto con los ríos Sumapaz, Magdalena, Negro, Minero, Suárez, Blanco, Gacheta y Macheta, conforman el grupo de corrientes de segundo orden del departamento.

Ilustración 2 Departamento de Cundinamarca



Fuente. Revista Semana

Ilustración 3 Municipios de la cuenca del río Bogotá

Las deudas de los municipios con el río Bogotá

La inexistencia de estudios que identifiquen cuáles son los agentes contaminantes y la falta de implementación de sistemas de acueducto y alcantarillado son algunos de los pendientes que los entes territoriales tienen con el proyecto de descontaminación.

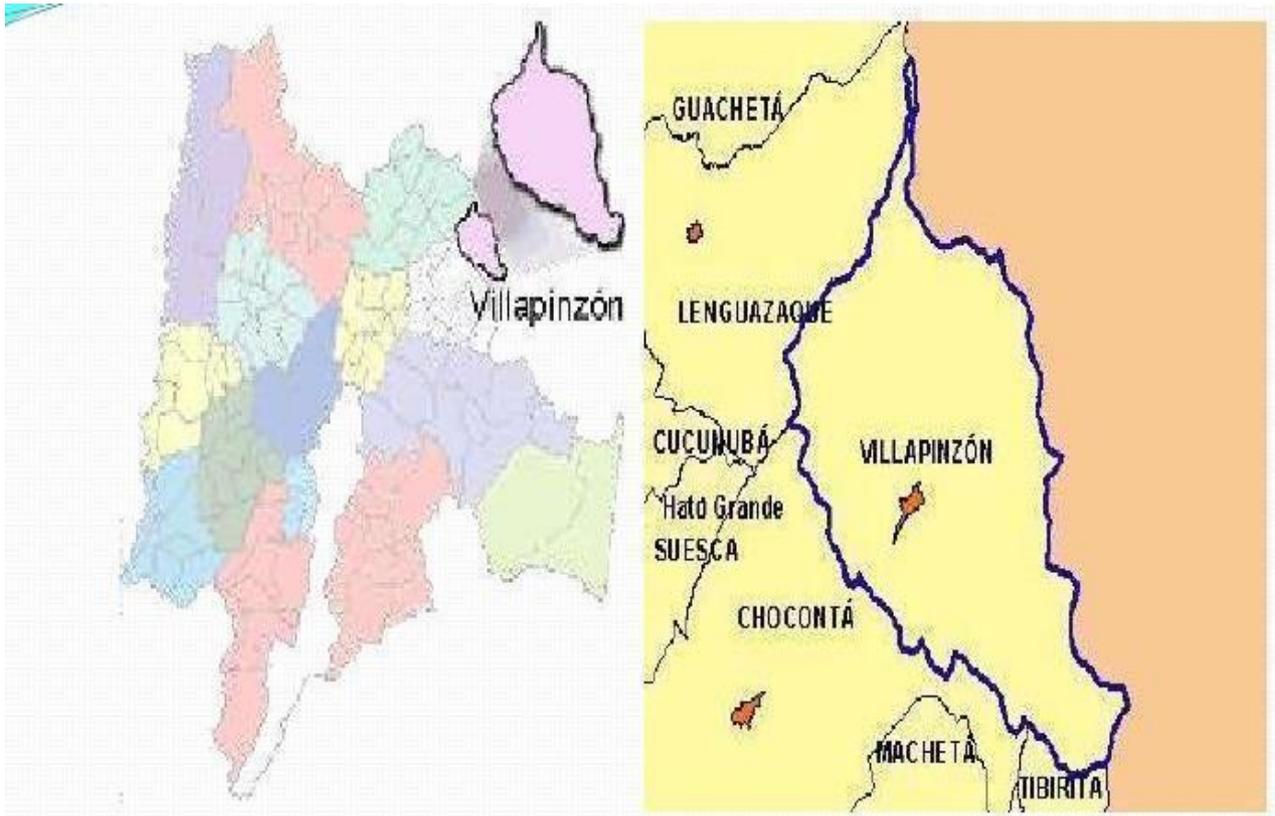


Fuente: (El espectador, 2012).

Villapinzón

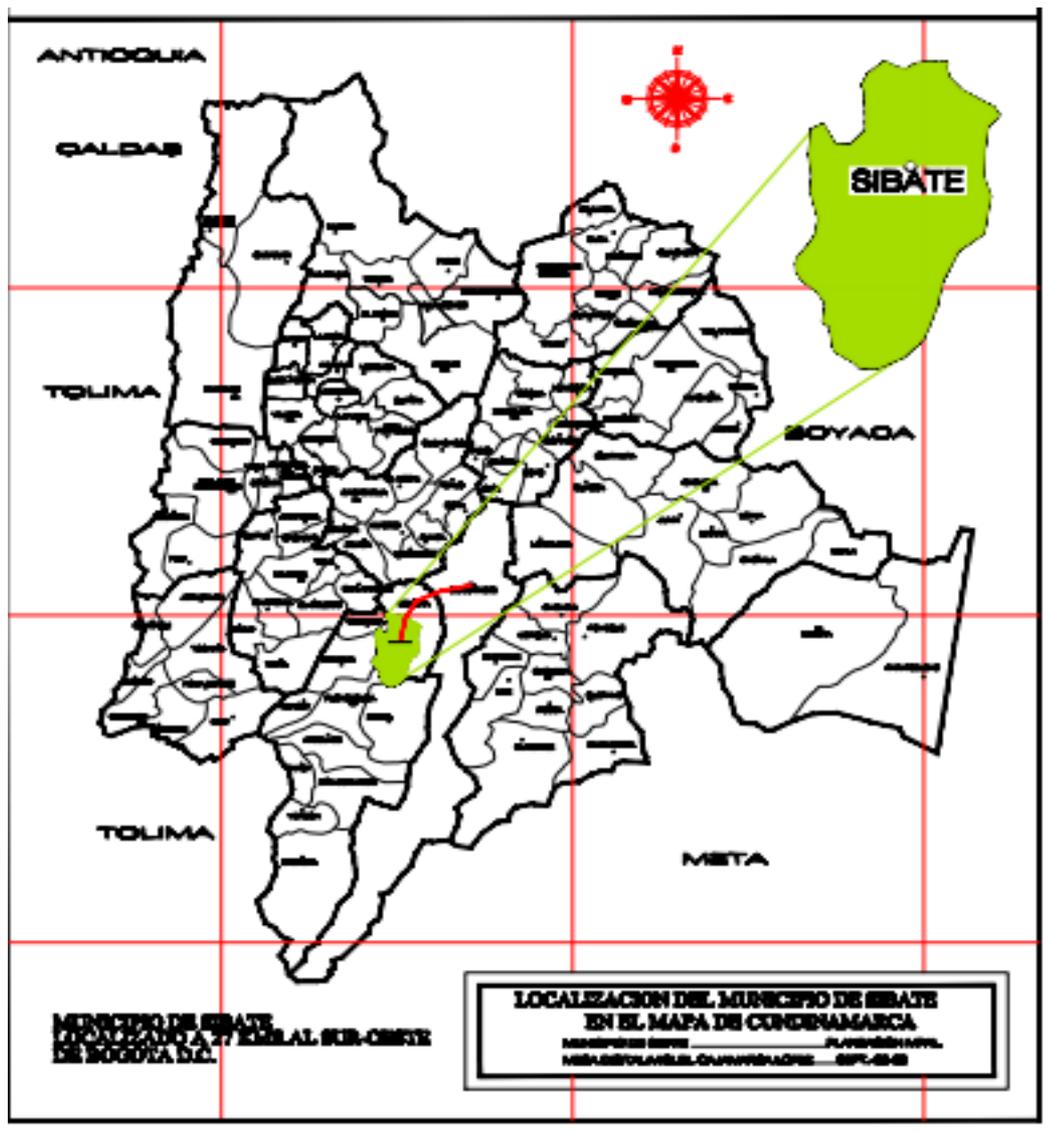
Villapinzón se ubica en el altiplano Cundiboyacense, pertenece a la región natural del bosque andino y a la sub región de la cuenca alta del río Bogotá. Administrativamente pertenece a la provincia Los Almeydas, la cual está conformada por los municipios de Chocontá, Machetá, Manta, Sesquillé, Suesca, Tibirita y Villapinzón (Villapinzón Cundinamarca, 2020).

Ilustración 4 Ubicación de Villapinzón en Cundinamarca



(Villapinzón Cundinamarca, 2020).

Ilustración 5 Ubicación de Sibaté en Cundinamarca



Fuente (Alcaldía de Sibaté, 2019).

El municipio de Sibaté se encuentra ubicado a 27 kilómetros al sur de Bogotá ciudad capital de Colombia, hace parte de la sabana sur occidental. Colinda al norte con el municipio de Soacha, al sur con Pasca y Fusagasugá, por el oriente con Soacha y por el occidente con Silvania y Granada (Alcaldía de Sibaté, 2012).

Es uno de los municipios más jóvenes de Cundinamarca, hacia el año 1967 y gracias al emprendimiento de un grupo de pobladores liderados por el entonces párroco municipal Julio Cesar Beltrán se tomó la decisión de separarlo de Soacha y convertirlo en municipio. (Alcaldía de Sibaté, 2012).

5.6 Marco Normativo

Actualmente la normatividad colombiana posee deficiencias en cuanto al establecimiento de valores máximos permisibles de metales pesados en suelos, se ha enfocado más en establecer dichos

valores en vertimientos a cuerpos de agua. Por otra parte, hay una única resolución en el país, que data acerca de los valores máximos permitidos en alimentos, pero la misma presenta deficiencias, ya que solo se habla de 4 metales pesados. Sin embargo, a continuación, se expondrá la normativa que considero importante tener en cuenta.

Tabla 2 Marco legal referente a metales pesados y agricultura

Norma	Objetivo
Ley 99 de 1993, SINA	Por el cual se crea el Ministerio de Medio Ambiente y se organiza el Sistema Nacional Ambiental SINA.
Decreto 1729 de 2002. Cuencas hidrográficas	Establece la ordenación de las cuencas hidrográficas y el plan de ordenación que se debe tener para la protección de las mismas.
Decreto Ley 2811/1974	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente
Resolución 4506 del 2013	Por el cual se establecen los niveles máximos de contaminantes en los alimentos destinados al consumo humano y se dictan otras disposiciones.

(Autor, 2020)

5.7 Marco institucional.

Las instituciones relevantes para el desarrollo de esta investigación son las enmarcadas en la imagen N°4, las cuales ayudarán de una y otra manera a que este proyecto se llevará a cabo, presentando sus laboratorios y poniendo a disposición el conocimiento de expertos.

Ilustración 6 Organigrama Institucional



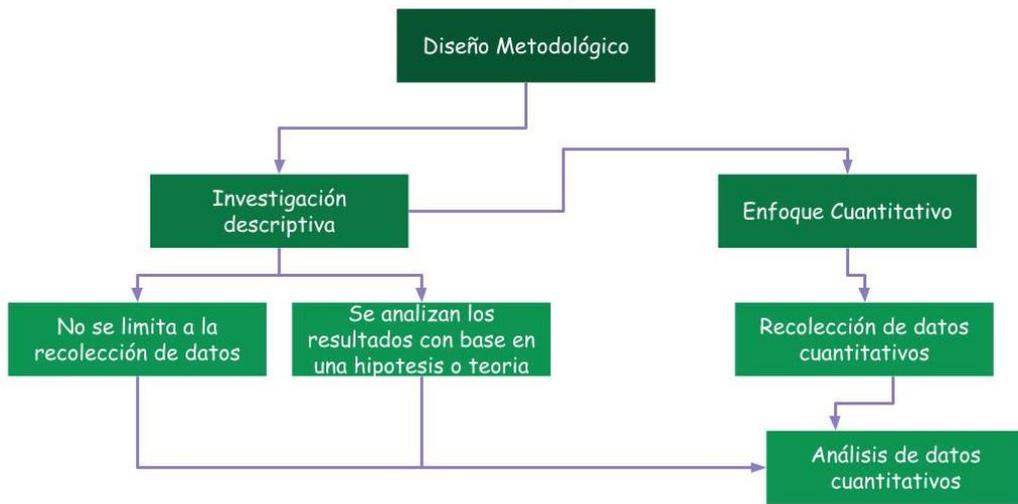
(Autor, 2020)

6. Metodología

Para la realización del proyecto se optó por hacer uso de la investigación descriptiva, de acuerdo a Morales, (2012). El objetivo de este tipo de investigación consiste en llegar a conocer las situaciones, costumbres y actitudes predominantes a través de la descripción exacta de las actividades, objetos, procesos y personas. Su meta no se limita a la recolección de datos, sino a la predicción e identificación de las relaciones que existen entre dos o más variables. Los investigadores no son meros tabuladores, sino que recogen los datos sobre la base de una hipótesis o teoría, exponen y resumen la información de manera cuidadosa y luego analizan minuciosamente los resultados, a fin de extraer generalizaciones significativas que contribuyan al conocimiento.

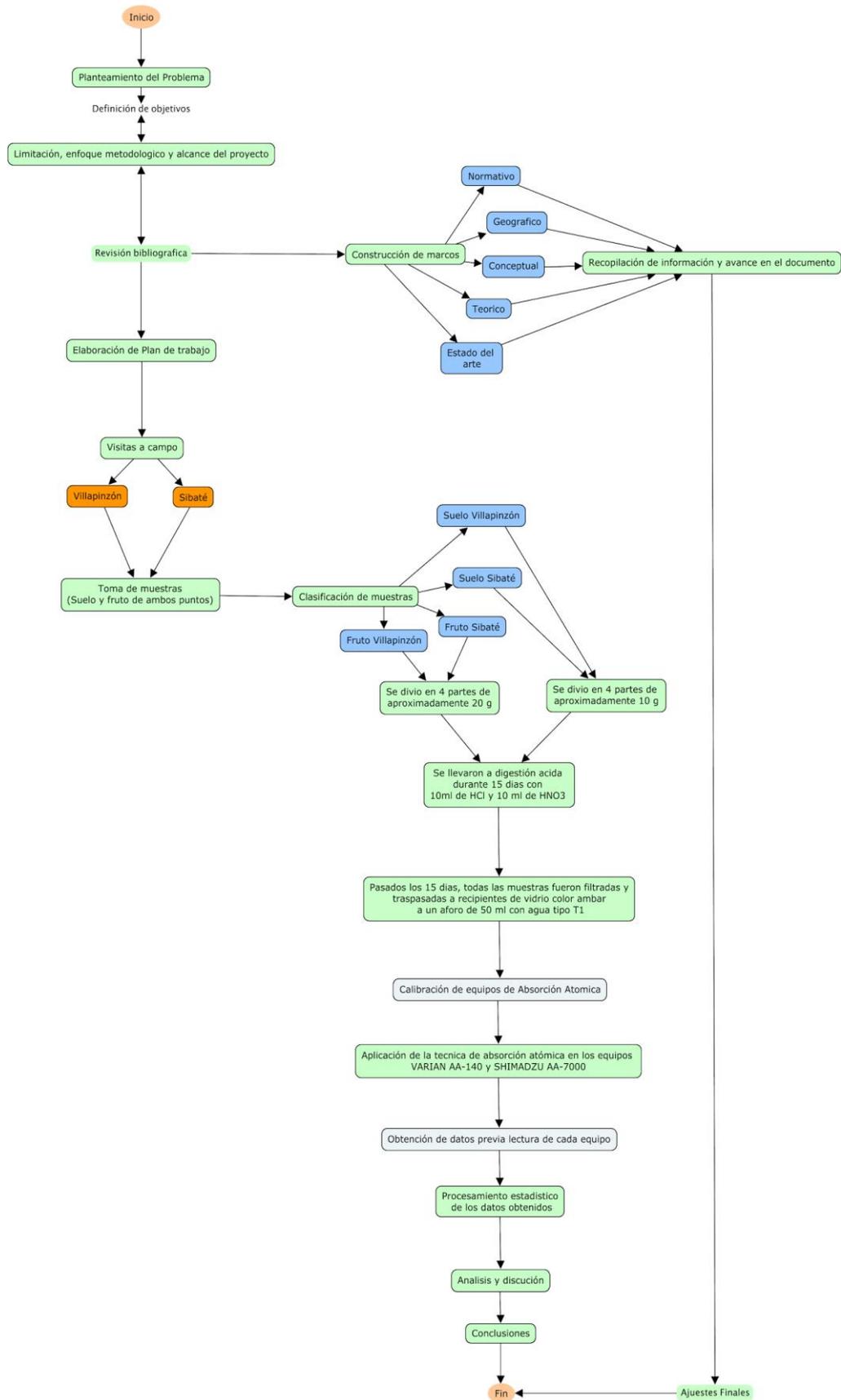
El enfoque por el cual se decide hacer el proyecto de investigación es el cuantitativo, ya que siguiendo a Pita & Pértegas, (2002) la investigación cuantitativa es aquella en la que se recogen y analizan datos cuantitativos sobre variables. La investigación cualitativa evita la cuantificación. Los investigadores cualitativos hacen registros narrativos de los fenómenos que son estudiados mediante técnicas como la observación participante y las entrevistas no estructuradas.

Ilustración 7 Organigrama Diseño Secuencial



(Autor, 2020).

Ilustración 8 Diagrama de flujo del proceso metodológico



(Autor, 2020)

En el diagrama de flujo anterior se describe paso a paso la metodología empleada para llevar a cabo todas las actividades necesarias para dar cumplimiento a todos los objetivos.

Para una mejor comprensión por parte de los lectores, se dividirá el diagrama de flujo anterior por fases y se expondrá el paso a paso.

- **Fase 1**

La primera fase consistió en realizar una primera revisión bibliográfica afín con el interés de investigar acerca de la presencia de metales pesados en Arándanos, con esta revisión bibliográfica se pudo realizar el planteamiento del problema y posteriormente se dio la definición de los objetivos, sin embargo los objetivos fueron objeto de cambio al seguir enriqueciendo la revisión bibliográfica, ya que al hacer esta actividad, se iban ajustando las limitaciones y el alcance del proyecto y los métodos, una vez se definieron los puntos mencionados anteriormente se procedió a elaborar el plan de trabajo.

Cabe resaltar que en esta fase también se empezaron a construir los marcos de referencia.

Ya con el plan de trabajo definido se dio lugar a las visitas de campo, las cuales tenían como objetivo tomar las muestras de suelo y fruto en los dos puntos seleccionados.

Villapinzón

Ilustración 9 Visita y toma de muestras cultivo Villapinzón

Localización del cultivo y obtención de muestras



(Autor, 2020)

Ilustración 10 Ubicación Geográfica de punto de muestreo en Villapinzón.



Fuente: Google Earth, modificado por autor

Ilustración 11 Zoom punto de muestreo Villapinzón



Fuente: Google Earth, modificado por autor

Ilustración 12 Visita y toma de muestras cultivo Sibaté

Localización del cultivo y obtención de muestras



(Autor, 2020)

Ilustración 13 Georreferenciación cultivo de arándanos en Sibaté.



Fuente: Google Earth, modificado por autor

Ilustración 14 Zoom punto de muestreo Sibaté



Fuente: Google Earth, modificado por autor

Fase II.

En esta fase se clasificaron las muestras tomadas en las salidas de campo y fueron llevadas al laboratorio para prepararlas y después poder realizar la cuantificación de los metales pesados en los equipos Varian AA-140 y Shimadzu AA-7000.

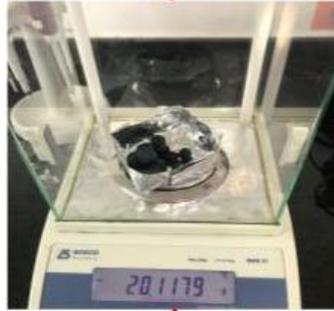
La preparación de las muestras consistió básicamente en dividir en 4 partes de 10 g de suelo de cada zona, y en 4 partes de 20 g los arándanos de cada zona, para tener un total de 16 muestras, una vez se hace esta clasificación de las muestras son llevadas a un proceso llamado digestión ácida durante 15 días con 10 ml de HCl y 10 ml de HNO₃, Pasados los 15 días, las muestras son filtradas y traspasadas a recipientes de vidrio de color ámbar hasta llegar a un aforo de 50 ml con agua tipo T1.

Para culminar esta fase, con los equipos previamente calibrados por expertos, se procede a realizar la cuantificación de los metales pesados de todas las muestras recolectadas.

Ilustración 15 Preparación de muestras para cuantificación de metales

Fase 2

Clasificación de muestras



Digestión ácida por 15 días

(Autor, 2020)

Fase III.

En esta última fase se empieza con el procesamiento de datos obtenidos en la fase II y se procede a realizar el análisis y discusión de resultados.

Tabla 3 Organigrama matriz con objetivos.

Objetivo Especifico	Alcance del objetivo	Hipótesis de investigación asociada al objetivo	VARIABLES asociadas al objetivo
Cuantificar las concentraciones de metales pesados (Cr, Co, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, Cd, As, y Cu) bioacumulados en arándanos cultivados en Villapinzón y Sibaté por la técnica de absorción atómica.	Cuantitativo	Hay concentraciones altas de metales pesados (Cr, Co, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, Cd, As, y Cu) en las muestras de fruto recolectadas.	Cercanía a fuentes de contaminación (Río Bogotá, embalse del Muña)
Determinar la concentración de metales pesados (Cr, Co, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, Cd, As, y Cu) en los suelos donde se cultivan los arándanos de Villapinzón y Sibaté y establecer el porcentaje de transferencia de los metales del suelo al fruto.	Cuantitativo	Existe una bioacumulación de metales pesados en los suelos de los cultivos en donde se tomaron las muestras y estos metales son transferidos hasta el fruto.	Concentración de metales pesados en suelo. Porcentaje de transferencia de metales pesados
Analizar las concentraciones de metales pesados en los arándanos con relación a la normatividad nacional e internacional y determinar las incidencias en la salud pública.	Cuantitativo	Las concentraciones de metales pesados en arándanos cultivados en Sibaté son mayores a la concentración de estos en arándanos cultivados en Villapinzón	Correlación de cada metal con las propiedades fisicoquímicas del suelo. Concentración de metales pesados en los frutos.

7.2.1. Plan de trabajo.

A continuación, se describe la metodología realizada para dar cumplimiento con los objetivos establecidos en el apartado 5 del documento. La metodología será presentada por objetivos, y cada uno de ellos contiene el flujograma de la metodología implementada y una breve descripción de esta.

Tabla 4 Plan de trabajo.

Objetivo general	Objetivos específicos	Actividades	Técnica	Instrumento	Resultados esperados.
Evaluar las concentraciones de metales pesados (Cr, Co, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, Cd, As, y Cu) en Arándanos cultivados en una finca ubicada en el municipio de Villapinzón, Cundinamarca y otra en el municipio Sibaté, Cundinamarca.	Cuantificar las concentraciones de metales pesados (Cr, Co, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, Cd, As, y Cu) bioacumulados en arándanos cultivados en Villapinzón y Sibaté por la técnica de absorción atómica.	Visitas a Campo. Cuantificar metales en arándanos Recopilar de información y referencias bibliográficas	Análisis documental. Recolección de datos. Digestión ácida Absorción atómica	Referencias bibliográficas. Libros. VARIAN AA-140 y SHIMADZU AA-7000	Concentraciones de metales pesados en arándanos de los puntos de muestreo
	Determinar la concentración de metales pesados (Cr, Co, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, Cd, As, y Cu) en los suelos donde se cultivan los arándanos de Villapinzón y Sibaté estableciendo el porcentaje de transferencia de los metales desde el suelo al fruto.	Visitas a Campo. Cuantificar metales en suelos Recopilar de información y referencias bibliográficas	Análisis documental. Recolección de datos. Digestión ácida Absorción atómica	Referencias bibliográficas. Libros. VARIAN AA-140 y SHIMADZU AA-7000	Concentraciones de metales pesados en suelos de los puntos de muestreo
	Analizar las concentraciones de metales pesados en los arándanos con relación a la normatividad nacional e internacional y determinar las incidencias en la salud pública.	Analizar los resultados obtenidos comparar con las información previamente seleccionada ampliar las referencias Bibliográficas.	Análisis documental. Análisis comparativo.	Arcticulos. Normatividad Nacional e Internacional	Las concentraciones de metales pesados en las muestras superan los valores máximos establecidos en la normatividad.

Fuente: Autor, 2020.

13. Resultados y análisis de resultados

13.1. Resultados y análisis de resultados del objetivo específico 1: Cuantificar las concentraciones de metales pesados (Cr, Co, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, Cd, As, y Cu) bioacumulados en arándanos cultivados en Villapinzón y Sibaté por la técnica de absorción atómica.

Luego de llevar a cabo la Espectrofotometría de absorción atómica, la Tabla 3 presenta las concentraciones de metales pesados en *Vaccinium corymbosum* o planta de arándanos. En principio, se obtuvo que en la finca de Villapinzón, la concentración más alta es del Mn o Manganeso, con 6,96 mg de metal por Kg de planta. Como segundo metal, con mayor concentración, se encuentra el Fe o Hierro, con un valor de 2,09 mg/Kg. Seguidamente se presenta el As o Arsénico con 0,20 mg/Kg y el Cd o Cadmio con 0,13 mg/Kg. Por último, los metales pesados con una menor concentración en la planta de arándanos son el Cu o Cobre y el Co o Cobalto, con resultados de 0,09 mg/Kg y 0,06 mg/Kg.

Por otro lado, las concentraciones de la planta de arándanos en metales pesados en Sibaté, presenta diferencias con las de Villapinzón. Al igual que las muestras de Villapinzón, el Manganeso presenta las concentraciones más altas, solo que en este caso, aproximadamente, tres veces menor al poseer un valor de 2,04 mg/Kg. Asimismo, el Hierro también es el segundo metal con la concentración más alta, pero en el caso de Sibaté, siendo de 1,89 mg/Kg.

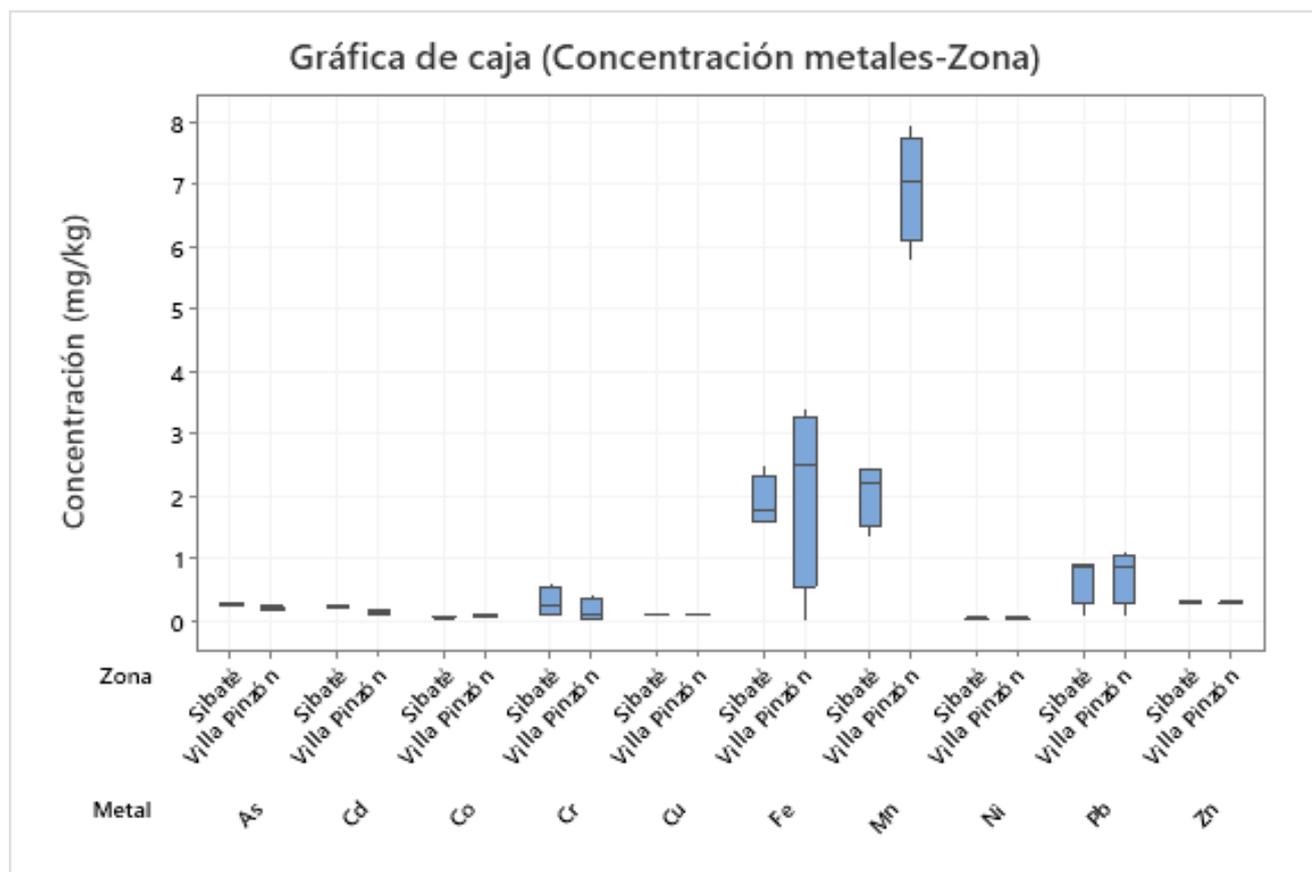
Los resultados solo presentan un cambio en los dos metales pesados con menos concentración entre las fincas. Como se mencionó anteriormente, en la finca de Villapinzón los menores valores de concentración lo presentaba el Cobre y el Cobalto. En el caso de la finca de Sibaté, se presenta el Cobalto con una concentración de 0,05 mg/Kg, y luego el Níquel con 0,02 mg/Kg.

Tabla 5 Concentración de metales pesados en Arándanos

Muestra	Cr	Co	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	Cd	As	Cu
Arándanos Villapinzón	0,1381	0,0646	2,0877	6,9579	0,0205	0,7174	0,2829	0,1250	0,1998	0,0918
	± 0,1642	± 0,0169	± 1,2905	± 0,7639	± 0,0051	± 0,3860	± 0,0112	± 0,0457	± 0,0356	± 0,0037
Arándanos Sibaté	0,2838	0,0485	1,8874	2,0413	0,0603	0,6701	0,2890	0,2296	0,2452	0,0932
	± 0,1944	± 0,0178	± 0,3568	± 0,4342	± 0,0042	± 0,3437	± 0,0061	± 0,0211	± 0,0247	± 0,0026

Al incluir los otros metales seleccionados en esta investigación, la finca de Villapinzón solo posee mayores concentraciones de Plomo (Pb) con 0,71 mg/Kg, dejando de lado el Magnesio, Hierro, Cobalto, Cobre y Níquel, mencionados anteriormente. Mientras que las muestras de Sibaté si presentaron mayores concentraciones en los metales pesados restantes, con Cobre (Cr) un valor de 0,28 mg/Kg; Zinc (Zn) 0,29 mg/Kg; y Arsénico con 0,25 mg/Kg, como se observa en la gráfica

Grafica 1 Concentración de metales pesados en las muestras de Villapinzón y Sibaté



(Autor, 2020)

Al final, tanto las muestras de la finca de Villapinzón, como las de Sibaté, obtuvieron que el manganeso y el hierro, presentan las mayores concentraciones, teniendo en cuenta los metales pesados analizados. A saber, tanto el manganeso como el hierro, son elementos cruciales en el crecimiento de la planta *Vaccinium corymbosum*, se presentan afectaciones cuando estas concentraciones aumentan (Hanson & Hancock, 2011).

En principio, el manganeso, que fue el metal con las más altas concentraciones, tanto en la finca de Villapinzón, como en la de Sibaté, es uno de los 17 elementos esenciales para el crecimiento y reproducción, en cualquier planta, así como en los procesos de fotosíntesis, respiración, la eliminación de especies reactivas de oxígeno, la defensa de patógenos y la señalización hormonal (Nieves-Cordones et al., 2020). Por tal motivo, el uso de fertilizantes con contenido de Mn busca mejorar la eficiencia en las plantas, principalmente en la fotosíntesis y en la síntesis de carbohidratos (Roholla & Rezaei, 2011).

No obstante, cuando la planta se expone a un exceso de este micronutriente, el manganeso se transforma como un agente tóxico (Caspersen et al., 2016). Entre las consecuencias reunidas por Millaleo et al. (2010) se encuentra la disminución de la tasa de crecimiento, y síntomas como la clorosis en las hojas y manchas foliares necróticas, pero en ocasiones, se puede presentar una disminución de la productividad por Mn sin síntomas foliares visuales. Al final, el autor expone que estas alteraciones causadas por este elemento son debido a que se presentan alteraciones del comportamiento fotosintético de las plantas.

Trasladando esto a la planta *Vaccinium corymbosum*, con la dosis óptima de Mn aumenta el contenido de clorofila en las hojas, ocasionando un mejor crecimiento de la planta; pero cuando esa concentración aumenta estos contenidos de clorofila empiezan a decaer (Dong et al. 2020). Por el contrario, un entorno con exceso de manganeso, ese contenido de clorofila decrece, producto del deterioro de la estructura tilacoide y la interrupción de la cadena de transporte de electrones en la fotosíntesis de esta planta (Chen et al., 2015).

Luego tenemos al Hierro, que fue el segundo elemento que contó con mayor concentración, tanto en la finca de Villapinzón, como en la de Sibaté. Al igual que el manganeso, el Hierro también hace parte de los 17 elementos esenciales para el crecimiento y la reproducción de las plantas (Nieves-Cordones et al., 2020). Es el elemento más encontrado en el Cloroplasto, encargado de llevar a cabo el proceso de la fotosíntesis (Schmidt et al., 2020).

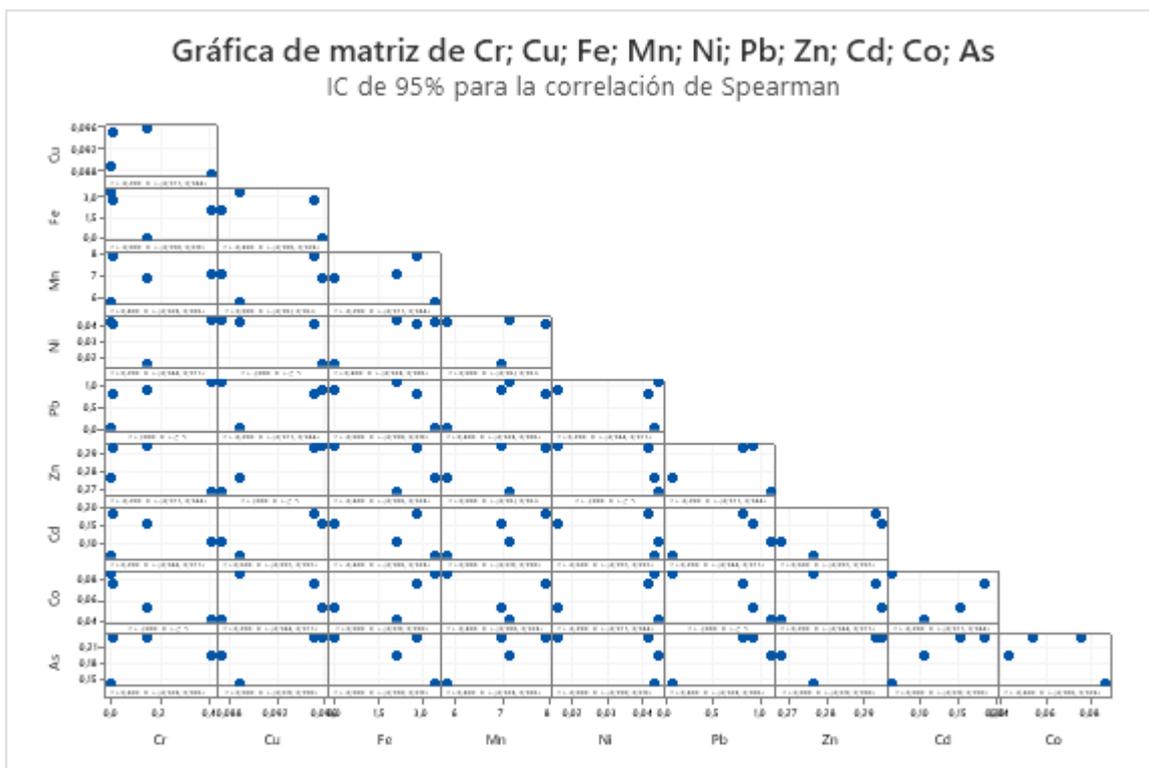
Rout & Sahoo (2015) reúne diferentes beneficios que brinda el hierro, siempre y cuando se encuentre en condiciones óptimas. Entre ellos se encuentran procesos básicos biológicos como la síntesis de clorofila, la respiración, la fijación de nitrógeno, y la síntesis de ADN, mediante la acción de la reductasa ribonucleótida. También se presenta la síntesis de hormonas en las plantas como el etileno, la lipoxigenasa, el ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico oxidasa. Aun así, el autor argumenta que un exceso en de este elemento, también puede llegar a ser tóxico para la planta.

En general, la toxicidad con hierro en las plantas no es una situación o un problema común en las plantas, excepto cuando estas se presentan en suelos anegados (Nikolic & Pavlovic, 2018). Este tipo de suelos son tan húmedos que dificultan los procesos de respiración de las plantas, promoviendo el crecimiento de microorganismos anaeróbicos, y a su vez, disminuye el pH de la solución del suelo, por la acumulación de dióxido de carbono, provocando en que se presente un exceso de Fe^{2+} que si resulta ser dañino para la planta (Krohling et al., 2016).

Entre los síntomas característicos de afectaciones en las plantas por hierro, se incluyen pequeñas manchas de color marrón en las hojas, con concentraciones de 0,5 mg/Kg (Römhelf & Nikolic, 2006), o una reducción en el rendimiento de la planta (Becker & Asch, 2005). Por tal motivo, un exceso de este metal provoca afectaciones fisiológicas (Walker et al., 2008) generando implicaciones en el desarrollo y crecimiento del material vegetal (Briat et al., 2009).

Por otra parte, Martínez et al., (2017), para determinar la fuente probable que comparte los metales, propone el uso de un procedimiento de correlación bivariada, es decir, un método que permita identificar si dos variables tienen relación. Para ello, recomienda la correlación de *Spearman*, la cual es una medida no paramétrica, que utiliza un rango de observaciones, donde un valor negativo indica que si una variable aumenta no necesariamente otra debe hacerlo; por el contrario, si es positivo, si esta concentración incrementa, el otro elemento disminuirá. Cabe aclarar que un valor de 0 indica que no hay una tendencia que se presente en la correlación (Liu et al., 2016).

Grafica 2 Correlación Spearman de la muestra de material vegetal de Villapinzón



(Autor, 2020)

Tabla 6 Factor de correlación de Spearman del material vegetal de Villapinzón

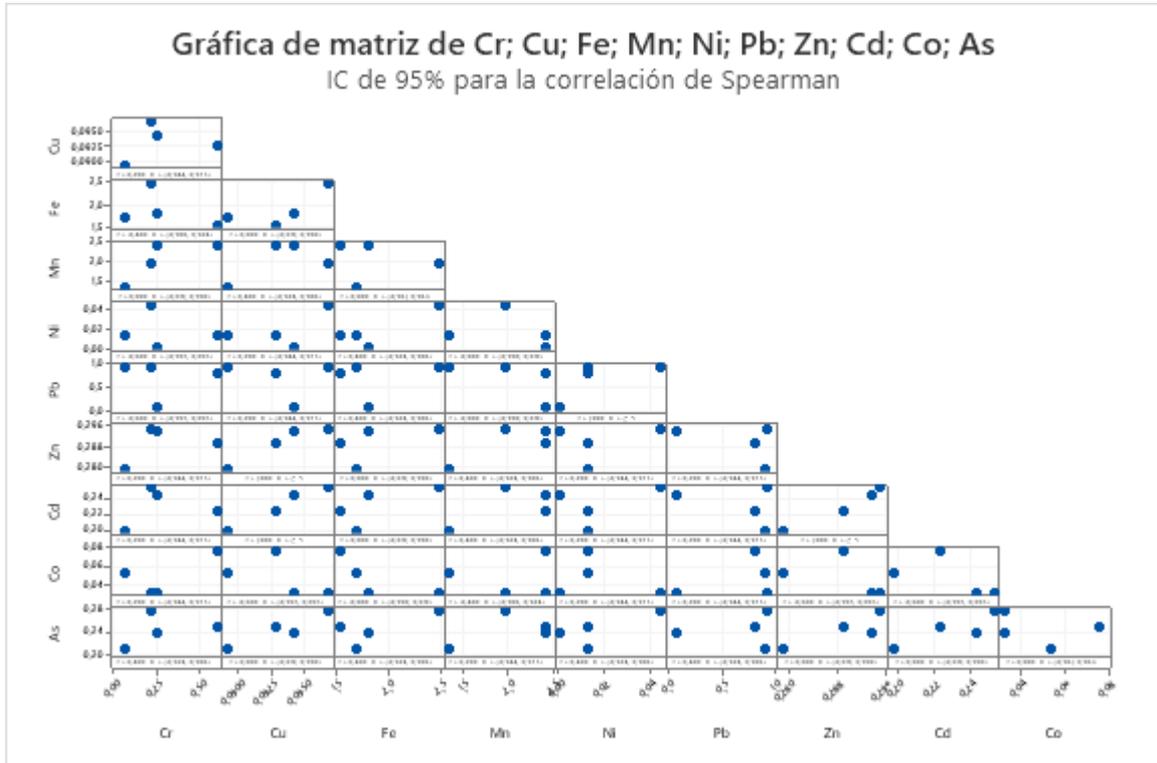
	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	Cd	Co
Cu	-0,200								
Fe	-0,800	-0,400							
Mn	0,400	0,000	-0,200						
Ni	0,200	-1,000	0,400	0,000					
Pb	1,000	-0,200	-0,800	0,400	0,200				
Zn	-0,200	1,000	-0,400	0,000	-1,000	-0,200			
Cd	0,200	0,600	-0,400	0,800	-0,600	0,200	0,600		
Co	-1,000	0,200	0,800	-0,400	-0,200	-1,000	0,200	-0,200	
As	0,400	0,800	-0,800	0,400	-0,800	0,400	0,800	0,800	-0,400

(Autor, 2020)

Teniendo en cuenta la Tabla 5 se observa que, en las plantas de arándanos, se presenta una correlación positiva entre el Pb con Cr y el Zn con Cu, este último obtenido también por Olowoyo

et al. (2010) y Zhang et al. (2018). A saber, esta correlación indica que a medida que aumenta la concentración, por ejemplo, del Pb, aumentará de la Cr. Por otra parte, como correlaciones negativas las de Co con Cr; Ni con Cu como se obtuvo Demková et al. (2017), Zn con Ni y Co con Pb. Adicional a esto, no se encuentra una tendencia en las correlaciones entre Mn y Cu, Ni con Mn, ni Zn con Mn.

Grafica 3 Correlación Spearman de la muestra de material vegetal de Sibaté



(Autor, 2020)

Tabla 7 Factor de correlación de Spearman del material vegetal de Sibaté

	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	Cd	Co
Cu	0,200								
Fe	-0,400	0,800							
Mn	0,800	0,400	0,000						
Ni	-0,600	0,200	0,400	-0,800					
Pb	-0,600	0,200	0,400	-0,800	1,000				
Zn	0,200	1,000	0,800	0,400	0,200	0,200			
Cd	0,200	1,000	0,800	0,400	0,200	0,200	1,000		
Co	0,200	-0,600	-0,800	-0,400	0,200	0,200	-0,600	-0,600	
As	0,400	0,800	0,400	0,200	0,400	0,400	0,800	0,800	0,000

(Autro, 2020)

En el caso de Sibaté, se presentaron sólo correlaciones positivas, entre Zn y Cu, Cd y Cu, Pb y Ni; y Cd y Zn, obtenido también por Zamani & Yaftian (2012). Además, Mn y Fe, así como As con Co, no presentaron una tendencia de contar con una correlación. Cabe aclarar que, en ambos casos, tanto en Villapinzón, como en Sibaté fueron seleccionadas esas correlaciones debido a que el coeficiente de *Spearman* era igual a 1, indicando una fuerte correlación (Demirezen & Aksoy, 2006).

13.2. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 2: Determinar la concentración de metales pesados (Cr, Co, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, Cd, As, y Cu) en los suelos donde se cultivan los arándanos de Villapinzón y Sibaté y establecer el porcentaje de transferencia de los metales del suelo al fruto.

La concentración de metales pesados en las plantas está correlacionado a la presencia de estos elementos en el suelo, sus propiedades, concentraciones y acidificación (Bader et al., 2018). Por tal motivo, la obtención de metales esenciales, como el Fe, Mn, Ni, Zn o Cu, está susceptible a la heterogeneidad del suelo para suministrarlos, al sistema de raíces (Cuypers et al., 2013).

Para lograr ese proceso Palmgren (2001) explica que la absorción de estos elementos, se lleva a cabo en las raíces de las plantas, las cuales interactúan con la rizosfera, con el objetivo de aumentar la biodisponibilidad de los minerales, y de esta manera, convertirlos en una forma apropiada para las plantas. Luego, las raíces expulsan sus protones a través de la membrana plasmática H⁺-ATPases (principal fuente impulsora para la absorción de cationes), y de esta

manera, acidificar la rizosfera. Este escenario permite la liberación de iones metálicos divalentes, que participan en un intercambio catiónico con los protones de las raíces, logrando su absorción.

Sin embargo, el creciente uso de fertilizantes en los cultivos ha ocasionado un aumento en las concentraciones de metales pesados de los suelos (Pratap et al., 2017). Alloway (2013) menciona cuatro posibles mecanismos en los que los metales pesados son transportados al suelo. El primer mecanismo es mediante las corrientes de aire (viento) y depósitos de polvo, partículas de aerosoles y formas gaseosas de los metales. Todos estos ocasionados principalmente por fertilizantes.

Luego un segundo mecanismo es por el movimiento de agua, ya sea por escorrentía o la inundación por ríos. La tercera estructura que ocasiona la contaminación del suelo es el movimiento cuesta debajo de rocas ricas en metales y material mineral contaminado o suelo por gravedad. Por último, se presenta mediante la colocación intencionado por tractores, pulverizadoras, esparcidores de estiércol, camiones y excavadoras de materiales que contienen estos metales pesados.

En el caso particular de esta investigación, en la Tabla 4, se presentan las concentraciones de metales pesados en las fincas de Villapinzón y Sibaté, en los cultivos de arándanos. En ambos suelos, se obtuvo que el hierro, con valores de 1073 mg/Kg y 1031 mg/Kg, respectivamente, es el metal de mayor concentración en el suelo de las fincas.

A saber, a pesar de que el hierro es el cuarto elemento más abundante en la tierra, en su mayoría se encuentra en forma de óxidos férricos, hidróxidos y minerales de silicato, los cuales no resultan ser una fuente de hierro fácilmente asimilables por las plantas (Kim & Guerinot, 2007). El contenido de este elemento varía según el tipo y la profundidad del suelo, pero aproximadamente se tienen valores de 20 g/Kg a 500 g/Kg, y, en la mayoría de casos, la concentración más alta se encuentra entre los primeros 2 a 15 centímetros (Audebert et al., 2006).

Luego del Fe, en los dos municipios, el metal con mayores concentraciones en las muestras de suelo es el Manganeseo, con concentraciones de 103 mg/Kg en el suelo de la finca de Villapinzón, y 320 mg/Kg en Sibaté. A diferencia del hierro, el manganeso es un metal pesado que no posee una alta notoriedad, siendo un elemento que juega un papel crucial en la salud del suelo (Uren, 2013).

Este elemento, en el suelo, proviene del lavado de plantas y otras superficies, de la lixiviación de los tejidos vegetales y el desprendimiento de excreciones de materiales como hojas, plantas muertas y material animal, así como de excrementos animales. Mientras que antropogénicamente, la fuente de manganeso son las descargas de aguas residuales municipales, lodos de alcantarillado, minería y procesamiento mineral, emisiones de la producción de aleaciones, acero y hierro, y la combustión de combustibles fósiles (Howe et al., 2004).

Sin embargo, estos valores se ubican incluso por debajo de los rangos normales reportados por (Kabata y Pendias, 2000)), que van desde 7000 a 550000 mg/kg.

Por otra parte se puede decir que los altos contenidos de Fe en el suelo del municipio de Villapinzón se da por el componente geológico en donde se han venido desarrollando los suelos en esta zona, según Ingeominas en la cuenca alta del río Bogotá se presentan suelos desarrollados sobre depósitos cuaternarios y depósitos piroclásticos los cuales son ricos en Fe, de acuerdo con lo anterior y teniendo en cuenta que los óxidos de Fe, Mn y Al absorben metales pesados esto pudo

influir en la transferencia de metales pesados desde el suelo al fruto. También se obtuvo como resultado que las concentraciones de As en ambos puntos de muestreo no superan el límite de toxicidad 34 mg/kg en suelos de la comunidad europea, tomando como referencia los reportados por (Kabata y Pendias, 2000).

Respecto a los contenidos de Co y Cu en los puntos de muestreo no superaron los valores considerados normales en la literatura, los cuales corresponden a 20 mg/kg para Co reportados por (Kabata y Pendias, 2000) y 210 mg/kg para Cu. Para el caso de Pb que se obtuvo una concentración de 5,8621 mg/kg en el suelo de Villapinzón y 8,2479 mg/kg en Sibaté, es reconfortante saber que estos valores se ubican muy por debajo de los valores que son considerados normales respecto a los sugeridos por los autores (Kabata y Pendias, 2000).

Tabla 8 Concentración de metales pesados en muestras de suelos en Villapinzón y Sibaté

Muestra	Cr	Co	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	Cd	As	Cu
Suelo Villapinzón	6,5517	1,5518	1073,9492	102,943	0,6625	5,8621	28,6307	1,1617	3,4993	1,1761
Suelo Sibaté	6,372	1,5293	1031,3289	319,5563	1,1334	8,2479	85,3212	1,0288	3,9885	0,9027

A saber, el suelo de Villapinzón se caracteriza por ser ácido, ya que posee un pH de hasta 5,6; mientras que Sibaté cuenta con un suelo ligeramente ácido, aproximadamente de 6,5 (Vargas et al., 2004). Teniendo en cuenta lo mencionado por Mahender et al. (2019), donde la disponibilidad de Fe está relacionada, principalmente, a la acidez del suelo, ya que reporta que suelos que poseen valores de pH superiores a 7, tiene un 95% de posibilidades de contar con bajas concentraciones de hierro.

Al igual que el Fe, el manganeso también incrementa en gran medida su disponibilidad en el suelo, producto de un aumento en su acidez (Millaleo et al., 2010). Esto se debe a que bajo un ambiente con pH bajo, se permite la exudación o salida de protones evitando la inmovilización del Mn en la rizosfera, aumentando su disponibilidad en el suelo (Nieves et al., 2020).

Grafica 4 Concentración de metales pesados en muestras de suelo de Villapinzón y Sibaté



(Autor, 2020)

Aunque el Fe y Mn fueron los elementos de mayores concentraciones, tanto en las plantas como en el suelo, al identificar su porcentaje de transferencia de los metales del suelo a la planta, tuvieron los menores valores. Este porcentaje consiste en la cantidad de metales pesados que se transfirieron del suelo a la planta.

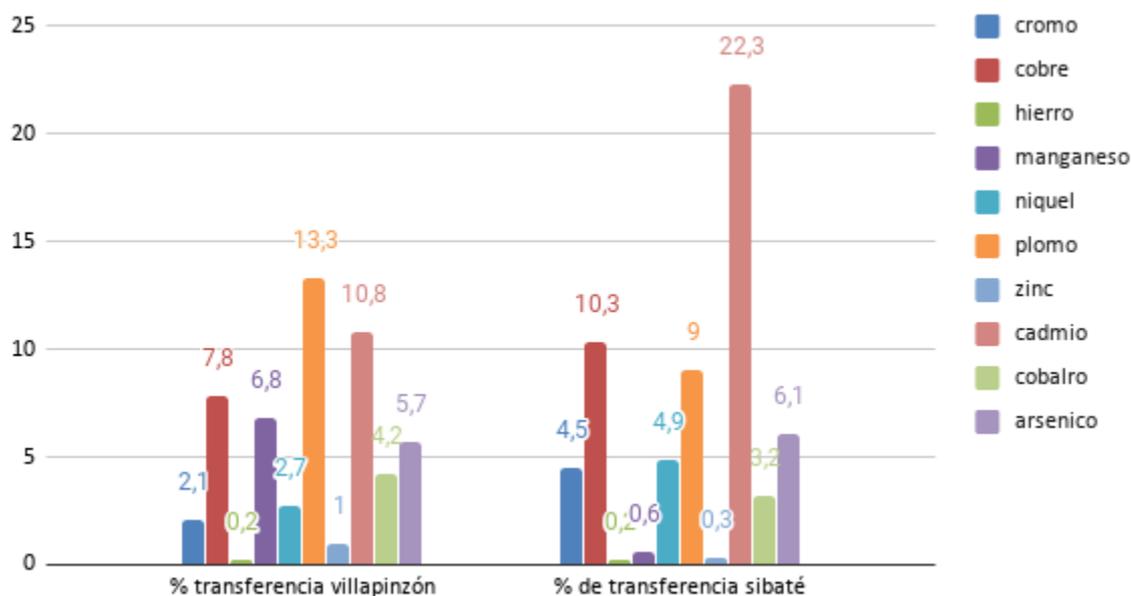
13.2.1. Porcentaje de transferencia de los metales del suelo al fruto

Tabla 9 Porcentaje de transferencia de metales desde el suelo al fruto

	Cr	Co	Fe	Mn	Ni	Pb	Zi	Cd	As	Cu
% transferencia Villapinzón	2,1	7,8	0,2	6,8	2,7	13,3	1	10,8	4,2	5,7
% transferencia Sibaté	4,5	10,3	0,2	0,6	4,9	9	0,3	22,3	3,2	6,1

(Autor, 2020)

Grafica 5 Porcentaje de transferencia de metales al fruto



(Autor, 2020)

En principio, en Villapinzón, el elemento que presentó un mayor porcentaje de transferencia es el Plomo, que tuvo un valor de 13,3%, luego el Cadmio y el Cobalto tuvieron valor de 10,8% y 7,8, respectivamente. Por otra parte, los elementos con un valor de transferencia menor fueron el Hierro con 0,2%, el Zi con 1 % y el Cromo con 2,1%.

El porcentaje de transferencia o factor de transferencia, es un índice que demuestra el potencial de toda la planta o de sus tejidos para acumular metales del suelo (también puede ser conocido como factor de bioconcentración (Rangnekar et al., 2013). Lo que se busca con este valor es la comprensión de las características de absorción de este tipo de elementos por las plantas, relacionando, la concentración de metales pesados de la planta y la concentración de metales del suelo. Aquellos valores superiores a 1 (que también puede ser tomado como 100%), indica que la planta es una acumuladora; por el contrario, si el valor es menor o igual a 1, indica que la planta cuenta con una deficiencia en la absorción de metales (Olowoyo et al., 2010).

Al observar la Tabla 9, la planta *Vaccinium corymbosum* es una especie excluidora del Cr, Co, Fe, Mn, Ni, Pb, Zi, Cd, As y Cu. Según Mirecki et al. (2015), el factor o porcentaje de transferencia divide a las plantas o a sus tejidos en tres categorías: excluidoras, indicadoras y acumuladoras. Excluidoras son aquella donde el factor de transferencia es menor a 1, es decir que la concentración de metales de la planta es menor a la concentración del suelo; Indicadoras, haciendo referencia a cuando el este factor es igual a 1 (o 100%); y acumuladoras, cuando el factor es mayor a 1 (o 100%), donde la concentración del suelo es menor a la de la planta.

De ahí a que se obtuvieron los mismos resultados obtenidos de la investigación de Mesa-Pérez et al. (2018) y Demirezan & Aksoy (2006), donde las concentraciones de las plantas fueron menores a la concentración de la muestra de suelo, tanto en la finca de Villapinzón, donde el factor máximo fue del Pb de 0,13 o 13%; y en la finca de Sibaté, siendo el Cd el de mayor absorción con un factor de 0,22 o 22%.

Al mismo tiempo, este factor de transferencia, indica que la especie *Vaccinium corymbosum*, no puede ser utilizada como una planta para la fitorremediación de suelo de ningún metal, al tener valor mucho menor al 100%. No obstante, para conseguirlo, las especies deben caracterizarse por una alta tasa de crecimiento, una producción superior de partes aéreas (por ejemplo, hojas) que, de raíces, un sistema radicular bien distribuido y ramificado, alta tolerancia a los efectos adversos del entorno, adaptación rápida a las condiciones ambientales y climáticas, alta resistencia a patógenos y plagas, y por último, y no menos importante, tener un porcentaje de transferencia superior a 100% (Sherameti & Varma, 2015).

13.3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL OBJETIVO ESPECÍFICO N°3: Analizar las concentraciones de metales pesados en los arándanos con relación a la normatividad nacional e internacional y determinar las incidencias en la salud pública.

Para determinar si las concentraciones de metales pesados son altas o bajas, es necesario compararlo con la normatividad, en este caso, Colombia, por la Resolución 4506 del 2013 del Ministerio de Salud el cual proporciona los valores mínimos que debe tener para no repercutir en un daño mayor. En la Tabla 5, no solo se incluye los límites mínimos de Colombia, también los de Europa, Estados Unidos y Brasil

Tabla 10 Valores máximos permitidos para concentración de metales pesados en alimentos.

Metales pesados	Normatividad por país					
	Valor de planta de arándanos (mg/Kg)		Europa (mg/Kg)	EE.UU. (mg/Kg)	Brasil (mg/Kg)	Colombia (mg/Kg)
	Villapinzón	Sibaté				
Cd	0,1250	0,2296	0,1	0,1	-	0,05
As	0,1998	0,2452	0,05	0,05	-	0,5
Pb	0,7174	0,6701	0,1	0,1	0,5	0,2
Zn	0,2829	0,2890	-	0,8	-	-
Co	0,0646	0,0485	-	-	-	-
Ni	0,0283	0,0114	-	-	-	-
Cu	0,0918	0,0932	-	-	10	-
Mn	6,9579	2,0413	-	-	-	-
Fe	2,0877	1,8874	-	-	-	-
Cr	0,1381	0,2838	-	0,05	-	-

La Tabla 10 refleja que, la concentración de arándanos supera todos los valores mínimos de la normatividad, menos el Cobre. Tanto el Cadmio, Arsénico, Plomo, Zinc y Cromo superan los valores mínimos. En principio, se identifica una deficiencia en la normatividad de metales pesados, en los siguientes metales: Cobalto, Níquel, Manganeso y Hierro, lo que resulta preocupante, ya que en altas concentraciones estos metales pueden generar daños a la salud humana, a la vida silvestre y los ecosistemas.

Ante todo, es necesario aclarar, así como el Fe y Mn son considerados importantes en la nutrición de los humanos, animales y plantas en niveles traza, por ejemplo, en las plantas el Mn es indispensable en el fotosistema y la activación de enzimas propias para el metabolismo vegetal. (Mahler, 2003). O el Ni que es esencial para mantener un óptimo metabolismo en los seres vivos entre esos el cuerpo humano, pero se debe tener en cuenta que todos pueden causar toxicidad si se encuentran en exceso (Prieto, et al., 2009), es de vital importancia tener parámetros de medida para identificar si las concentraciones de estos metales pueden ser causar algún daño.

Ahora bien, entrando a analizar los elementos que presentaron concentraciones superiores a la normatividad, tenemos el Pb, el cual, tanto en la finca de Villapinzón como la de Sibaté, poseen concentraciones 6 veces mayores (incluso más) a la de la normatividad. En principio, un exceso de plomo en la planta puede ocasionar una reducción de su porcentaje de germinación, un crecimiento suprimido, reducción de su biomasa, de su contenido de proteína vegetal, y hasta la inhibición de la actividad enzimática (Chibuike & Obiora, 2014).

Luego, en la salud humana, los alimentos contaminados con plomo, al entrar al cuerpo de un individuo, modifica los cationes bivalentes como el Ca^{2+} , Mg^{2+} o Fe^{2+} , alterando el metabolismo biológico de la célula. Esto provoca alteraciones, e incluso, impidiendo su desarrollo, de procesos como la adhesión celular (comunicación entre las células), el plegamiento de proteínas, el transporte iónico, la regulación enzimática y liberación de neurotransmisores (Jaishankar et al., 2014).

Por otro lado, se tiene el As, que en ambas fincas obtiene valor cuatro veces mayores a la normatividad. Al igual que el Pb, el arsénico es el responsable, en concentraciones tóxicas, de reducir la germinación de semillas, la disminución de la altura de la plántula, la reducción del área foliar y de materia seca (Marin et al., 1993). Además, la disminución del rendimiento en la producción de frutos, de peso fresco de la hoja, o la proliferación de la clorosis, son otros factores que ocasionaría un ambiente tóxico en arsénico para la planta.

A nivel de la salud humana, con dosis muy pequeñas de hasta 0,035 mg/Kg, ya se presentan daños a la salud. Entre ellos se encuentra, edemas, conjuntivitis, agrandamiento del hígado, y hasta irritación de las mucosas. Luego de varias dosis, el arsénico es capaz de afectar el sistema nervioso y hasta ocasionar la muerte (Washington State Department of Health, 1999).

Las concentraciones de Cd, al igual a la del As, superó en más de 400% los valores máximos de la normatividad colombiana, tanto en la finca de Villapinzón, como en la de Sibaté. La acumulación de este metal puede ocasionar que la planta disminuya su el contenido de nutrientes de la planta (Ahmad et al., 2012), principalmente porque inhibe el crecimiento de las raíces, las cuales hacen el papel de “puente” entre el suelo, la rizosfera (donde se hallan la mayor concentración de nutrientes), y los tejidos de la planta (Cox et al., 1996).

Por otra parte, este elemento en salud humana, fue reconocido por La Agencia para el Registro de Sustancias Tóxicas y Enfermedades (ATSDR - *The Agency for Toxic Substances and*

Disease Registry), como una de las seis sustancias más tóxicas del mundo (U.S.D.H.H.S. & A.T.S.D.R., 2012). De acuerdo con la OMS el consumo de Cd diario no debería exceder los 0,040 mg/Kg, ya que una mayor ingestión de este metal, podría ocasionar la bioacumulación en órganos como el hígado y el riñón, afectando su correcto funcionamiento. (Barragán, 2008). También Cai et al. (2019) afirma que la ingesta de sólo 0,02 mg a 0,075 mg al día puede generar intoxicación crónica, que, bajo este elemento, posee síntomas irritativo a nivel gastrointestinal, y hasta toxicidad hepatorenal

También se encontró que en los resultados obtenidos de la cuantificación de los metales pesados en los arándanos, las concentraciones de Cd y Pb superan los límites máximos permitidos establecidos en la resolución 4506 del 2013 del Ministerio de salud el cual adopta los límites dados en el Codex Alimentarius (CODEX STAN 193-1995), en dicha resolución se encontró que el límite máximo de Pb en arándanos es de 0,20 mg/ Kg y el límite máximo de Cd fue de 0,05 mg / kg, estos valores fueron superados en ambos puntos, presentando una concentración mayor de Pb. Las muestras de frutos el punto de Villapinzón, cumple con la idea de que si bien, en los suelos contaminados con Pb se puede encontrar Cd y Zn por la similitud entre sus características metálicas (Hettiararchchi y Pierzynsky, 2002), en este caso la barrera suelo-planta limita la translocación de Pb a la cadena trófica, haciéndose evidente en esta investigación, ya que aun superando los límites máximos permitidos de dicho metal, si se compara con las concentraciones que se hallaron en la muestra de suelo su transferencia al fruto no fue significativa.

14. Conclusiones

Se logró cumplir a cabalidad con todos los objetivos propuestos en el proyecto, teniendo como resultado lo planteado en la hipótesis nula, ya que si hay concentraciones de metales pesados en los arándanos cultivados en Villapinzón y Sibaté. .

Las concentraciones de metales pesados en los arándanos de ambas zonas, superaron los límites máximos permitidos de algunos metales (Cd, Pb, As, Cr) respecto a los valores establecidos tanto en normatividad nacional como internacional, lo cual representa un riesgo para la salud de las personas que consuman dichos arándanos.

No se pudo definir qué zona obtuvo la mayor concentración de metales pesados, ya que en Villapinzón se obtuvieron valores superiores en Cr, Co, Fe, Cd y Cu y en Sibaté en Mn, Ni, Pb, Zn y As, sin embargo desde la ingeniería ambiental, se puede concluir que la zona más crítica fue Sibaté, puesto que si se omitiera el Fe, Sibaté al tener mayor concentración en As y Pb que son dos de los metales con mayor implicación en efectos negativos por toxicidad en la salud humana es la zona a la que mayor atención debería prestarse.

La transferencia de metales pesados desde el suelo al fruto está condicionada a la biodisponibilidad de los diferentes metales existentes en el suelo, su correlación con otros elementos y las diferentes características físico-químicas del suelo.

Las concentraciones de los metales en los suelos de ambas zonas evaluadas se encuentran por debajo de lo consultado en la literatura. Sin embargo, no se debe olvidar que una de las particularidades de los metales es la bioacumulación, lo cual en un futuro pueden llegar a incrementarse los valores actuales, ocasionando problemas ambientales, aumentando las posibilidades de incrementar concentraciones de metales en las personas que consuman alimentos cultivados en estos suelos.

La falta de investigación en el país sobre concentraciones de metales pesados en suelos y alimentos, así como la carencia de límites de contaminación en suelos y alimentos para metales pesados a nivel Colombia, hace que el análisis pueda ser impreciso ya que en el presente trabajo se tomó como referencia los límites establecidos por autores extranjeros para suelos de otros países.

15. Recomendaciones

Es urgente establecer valores límites en alimentos para los metales pesados en el país, ya que actualmente solo se cuenta con los valores para As, Cd, Pb y Hg dejando de lado otros elementos que pueden generar efectos negativos en la salud de las personas, según lo reportado en la literatura.

Desde la ingeniería ambiental se puede considerar que se debe incentivar y fortalecer la investigación en estos temas en todas las zonas del país, ya que esta sería una herramienta para tratar de establecer valores que definan cual es la concentración de origen natural de los metales pesados y así diferenciar cuando han sido alteradas por las actividades antrópicas.

Toda vez las líneas de investigación sobre inocuidad alimentaria y salud pública se amplíen y se fortalezcan, se pueden plantear metas y retos desde la parte agrícola en el país, con el fin de sensibilizar a los agricultores y empezar a capacitarlos sobre los riesgos que implican en la salud tanto de los consumidores como de ellos mismos el uso de pesticidas y fertilizantes químicos, como el uso de agua no apta para el riego ni consumo humano.

Teniendo en cuenta que hay plantas con la capacidad de adsorber los metales pesados presentar en el suelo, los productores, pueden sembrar entre el cultivo de Arándanos dichas especies fitorremediadoras con el fin de que estas, influyan en el porcentaje de transferencia de metales desde el suelo al fruto.

16. Referencias

- AA.VV. 2007. Manuale del Cosmetologo. Tecniche Nuove, Italia, ricerca applicata, Progettazione, Engineering, Produzione, Marketing, Packaging, Discipline collegate.
- Acosta de Armas, M., Montilla Peña, J. (2011). Evaluación de la contaminación de Cadmio y Plomo en agua, suelo y sedimento y análisis de impactos ambientales en la subcuenca del río Balsillas afluente del río. Bogotá D.C., Colombia.
- Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC). 1992. Solar and ultraviolet radiation. Lyon: IARC.
- Agudelo Betancur, L., & Macias Mazo, K., & Suárez Mendoza, A. (2005). Fitorremediación: la alternativa para absorber metales pesados de los biosólidos. *Revista Lasallista de Investigación*, 2 (1), 57-60.
- Ahmad, I., Akhtar, M. J., Ahmad Zahir, Z., & Jamil, A. (2012). Effect of cadmium on seed germination and seedling growth of four wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Pakistan Journal of Botany*, 44(5), 1569–1574. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/236016436_Effect_of_cadmium_on_seed_germination_and_seedling_growth_of_four_wheat_Triticum_aestivum_L_cultivars
- ALFARO, R.; GARCÍA, E.; MONTENEGRO, O. 2002. Niveles de contaminación de mercurio, cadmio, arsénico y plomo en suelos de la Cuenca Baja del Río Bogotá. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 4(2):66-71.
- Alloway, B. (2013). Source of Heavy Metals and Metalloids in Soils. In *Heavy Metals in Soils* (pp. 11–50). Reading.
- Audebert, A., Narteh, L., Kiepe, P., Millar, D., & Beks, B. (2006). Iron toxicity in rice-based systems in West Africa. *Undefined*.
- Aurora Mesa-Pérez, M. I., Díaz-Rizo, O. I., Tavella III, M. J., Bagué III, D., & Miguel Sánchez-Pérez III, J. (2018). Factores de transferencia suelo-planta de Elementos Tierras Raras en arroz (*Oryza sativa* L.) Soil-to-Plant Transfer Factors of Rare Earth Elements in Rice (*Oryza sativa* L.). *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 27(2), 1–9. Retrieved from <http://revistas.unah.edu.cu>
- Bader, N., Alsharif, E., Nassib, M., Alshelmani, N., & Alalem, A. (2018). Phytoremediation potential of *Suaeda vera* for some heavy metals in roadside soil in Benghazi, Libya. *Asian Journal of Green Chemistry*, 3(August 2018), 82–90. <https://doi.org/10.22034/ajgc.2018.67060>
- Barragan Moreno, O. L. (2008). Estudio de diferentes metodologías para determinar la biodisponibilidad de cadmio y arsénico en suelos y su relación con la concentración en plantas. *Nova*, 6(9), 35-39. <https://doi.org/10.22490/24629448.394>
- Becker, M., & Asch, F. (2005). Iron toxicity in rice-conditions and management concepts. *Journal Plant Nutrition Soil Science*, 168, 558–573. <https://doi.org/10.1002/jpln.200520504>
- Briat, J.-F., Duc, C., Ravet, K., & Gaymard, F. (2009). Ferritins and iron storage in plants. *Biochimica et*

Biophysica Acta, 1800, 806–814. <https://doi.org/10.1016/j.bbagen.2009.12.003>

- Cai, K., Yu, Y., Zhang, M., & Kim, K. (2019). Concentration, Source, and Total Health Risks of Cadmium in Multiple Media in Densely Populated Areas, China. *International Journal of Environmental Research*, 16(2269), 1–18. <https://doi.org/10.3390/ijerph16132269>
- Caspersen, S., Svensson, B., Håkansson, T., Winter, C., Khalil, S., & Asp, H. (2016). Blueberry-Soil interactions from an organic perspective. *Scientia Horticulturae*, 208, 78–91. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.04.002>
- Chen, Z., Sun, L., Liu, P., Lui, G., Tian, J., & Liao, H. (2015). Malate Synthesis and Secretion Mediated by a Manganese-Enhanced Malate Dehydrogenase Confers Superior Manganese Tolerance in *Stylosanthes guianensis* L. *Plant Physiology*, 167(1), 176–188. <https://doi.org/10.1104/pp.114.251017>
- Chibuiké, G. U., & Obiora, S. C. (2014). Heavy Metal Polluted Soils: Effect on Plants and Bioremediation Methods. *Hindawi Publishing Corporation Applied and Environmental Soil Science*, 1(1), 1–12. <https://doi.org/10.1155/2014/752708>
- Cordero Casallas, J. K. (2015). *Fitorremediación in situ para la remediación de suelos contaminados por metales pesados (cadmio y plomo) y evaluación de selenio en la finca Furatena alta en el municipio de Útica-Cundinamarca*. Universidad Libre, Ingeniería Ambiental, Bogotá.
- Corredor J., (2006). El residuo líquido de las curtiembres. Estudio de Caso: Cuenca Alta del río Bogotá. En: Ciencia e Ingeniería Neogranadina, Vol. 16 (2), pp. 14-28.
- Cox, M. S., Bell, P. F., & Kovar, J. L. (1996). Differential tolerance of canola to arsenic when grown hydroponically or in soil. *Journal of Plant Nutrition*, 19(12), 1599–1610. <https://doi.org/10.1080/01904169609365224>
- Cuypers, A., Remans, T., Weyens, N., Colpaert, J., Vassilev, A., & Vangronsveld, J. (2013). *Soil-Plant Relationships of Heavy Metals and Metalloids*. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7_6
- D'Ambrosio, M.C., 2005. Arsénico en aguas: origen, movilidad y tratamiento. Evaluación y selección de tecnologías disponibles para remoción de arsénico, pp.123–136.
- Delgadillo-López, A., & González-Ramírez, C., & Prieto-García, F., & Villagómez-Ibarra, J., & Acevedo-Sandoval, O. (2011). FITORREMEDIACIÓN: UNA ALTERNATIVA PARA ELIMINAR LA CONTAMINACIÓN. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14 (2), 597-612.
- DEMIREZEN, D., & AKSOY, A. (2006). HEAVY METAL LEVELS IN VEGETABLES IN TURKEY ARE WITHIN SAFE LIMITS FOR Cu, Zn, Ni AND EXCEEDED FOR Cd AND Pb. *Journal of Food Quality*, 29(3), 252–265. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2006.00072.x>
- Demková, L., Jezný, T., & Bobulská, L. (2017). Assessment of soil heavy metal pollution in a former mining area-before and after the end of mining activities. *Soil and Water Research*, 12(4), 229–236. <https://doi.org/10.17221/107/2016-SWR>

- Díaz, O., Recabarren, E., Ward, J., & Villalobos, J. (2019). Metales pesados: aspectos ecológicos y tecnológico-alimentarios.
- Dong, S. S., Yang, H. Y., Wu, W. L., Li, W. L., & Lyu, L. F. (2020). Physiological and morphological responses of blueberry to manganese stress in soil. *Revista Brasileira de Botanica*, 43(3), 419–427. <https://doi.org/10.1007/s40415-020-00625-4>
- Hanson, E., & Hancock, J. (2011). *Managing the Nutrition of Highbush Blueberries*. Michigan: Michigan State University Extension. Retrieved from [https://www.canr.msu.edu/uploads/resources/pdfs/managing_the_nutrition_of_highbush_blueberries_\(e2011\).pdf](https://www.canr.msu.edu/uploads/resources/pdfs/managing_the_nutrition_of_highbush_blueberries_(e2011).pdf)
- Hettiarachchi, G. M., & Pierzynski, G. M. (2002). In situ stabilization of soil lead using phosphorus and manganese oxide: influence of plant growth. *Journal of environmental quality*, 31(2), 564–572.
- Howe, M. P. D., Malcolm, H. M., & Dobson, D. S. (2004). *MANGANESE AND ITS COMPOUNDS: ENVIRONMENTAL ASPECTS First draft prepared*. World Health Organization Geneva. Retrieved from https://www.who.int/ipcs/publications/cicad/cicad63_rev_1.pdf?ua=1
- Huamaní-Yupanqui, H., & Huauya-Rojas, M., & Mansilla-Minaya, L., & Florida-Rofner, N., & Neira-Trujillo, G. (2012). Presencia de metales pesados en cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) orgánico. *Acta Agronómica*, 61 (4), 339-344.
- Huang, Z., Xiao-Dong, P., Pin-Gu, W., Jian-Long, H & Quing, C. (2014). Heavy metals in vegetables and the health risk to population in Zhejiang, China. *Food Control*, 36(1), pp.248–252. Available at: DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.08.036>.
- IDEAM, Estudio Nacional del Agua. (2014). Recuperado de: http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA_2014.pdf
- Izquierdo Ríos, J. L., & Verástegui Horna, S. P. (2017). Concentración de metales pesados (As, Cd, Cr, Hg y Pb) en el agua de la cuenca baja del río Jequetepeque, en relación a los estándares de calidad del agua-categoría 3, cajamarca-2016
- Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B. B., Beeregowda, K. N., Blessy, A., & Mathew, B. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary Toxicology*, 7(2), 60–72. <https://doi.org/10.2478/intox-2014-0009>
- Kabata, A. & Pendias, H. (2000). *Trace Elements in Soils and Plants*. (3 rd edition) CRC Press. Boca Ratón, Florida, EEUU. 412 pp. Recuperado de: <http://base.dnsgb.com.ua/files/book/Agriculture/Soil/Trace-Elements-in-Soils-and-Plants.pdf>
- Kim, S. A., & Guerinot, M. Lou. (2007). Mining iron: Iron uptake and transport in plants. *Federation of European Biochemical Societies*, 581, 2273–2280. <https://doi.org/10.1016/j.febslet.2007.04.043>
- Krohling, C. A., Eutrópio, F. J., Azevedo Bertolazi, A., Dobbss, L. B., Campostrini, E., Dias, T., & Ramos, A. C. (2016). Ecophysiology of iron homeostasis in plants. *Soil Science and Plant Nutrition*, 62(1), 39–47. <https://doi.org/10.1080/00380768.2015.1123116>

- Liu, C.-T., Milton, J., & McIntoch, A. (217AD, January 6). Correlation and Regression with R. Retrieved October 20, 2020, from https://sphweb.bumc.bu.edu/otlt/MPH-Modules/BS/R/R5_Correlation-Regression/index.html
- Lizarazo, M. F., Herrera, C. D., Celis, C. A., Pombo, L. M., Teherán, A. A., Pineros, L. G., ... & Rodríguez, O. E. (2020). Contamination of staple crops by heavy metals in Sibaté, Colombia. *Heliyon*, 6(7), e04212.
- LONDOÑO-FRANCO, LUIS FERNANDO, LONDOÑO-MUÑOZ, PAULA TATIANA, & MUÑOZ-GARCÍA, FABIÁN GERARDO. (2016). LOS RIESGOS DE LOS METALES PESADOS EN LA SALUD HUMANA Y ANIMAL. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145-153. [https://dx.doi.org/10.18684/BSAA\(14\)145-15](https://dx.doi.org/10.18684/BSAA(14)145-15).
- Lora R.; Bonilla H.; (2010) Remediación de un suelo de la cuenca alta del río Bogotá contaminado con los metales pesados cadmio y cromo. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* 13 (2): 61-70
- LORA, R. 2007. Contaminación por micronutrientes y posibles soluciones. *Rev. U.D.C.A. Act. & Div. Cient.* 7(1):5-20.
- Lorduy, J. (2019, September 6). Cultivos de arándanos azules en Colombia se han triplicado en dos años. *Agronegocios*. <https://www.agronegocios.co/agricultura/cultivos-de-arandanos-azules-en-colombia-se-han-triplicado-en-dos-anos-2905108>
- Mahender, A., Swamy, B. P. M., Anandan, A., & Ali, J. (2019). Tolerance of Iron-Deficient and toxic soil conditions in Rice. *Plants*, 8(2). <https://doi.org/10.3390/plants8020031>
- Mahler, Robert. 2004. General overview of nutrition for field and container crops. recuperado de: https://nanopdf.com/download/general-overview-of-nutrition-for-field-and-container-crops-robert-l-mahler_pdf#
- Marin, A. R., Pezeshki, S. R., Masschelen, P. H., & Choi, H. S. (1993). Effect of dimethylarsenic acid (dmaa) on growth, tissue arsenic, and photosynthesis of rice plants. *Journal of Plant Nutrition*, 16(5), 865–880. <https://doi.org/10.1080/01904169309364580>
- Márquez, Miguel. (2011). Formación del espíritu científico en salud pública. *Revista Cubana de Salud Pública*, 37(Supl. 5), 585-601. Recuperado en 21 de octubre de 2020, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-34662011000500008&lng=es&tlng=es.
- Marruecos, L., Nogué, S., & Nolla, J. (1993). *Toxicología clínica*. Barcelona.: Springer-Verlag Ibérica
- Martínez, G.; Palacio, C. (2010) Determinación de metales pesados cadmio y plomo en suelos y granos de cacao frescos y fermentados, mediante espectroscopia de absorción atómica de llama. Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ciencias. Bucaramanga, Colombia.
- Martínez, Z., González, M. S., Paternina, J., & Cantero, M. (2017). Contaminación de suelos agrícolas por metales pesados, zona minera El Alacrán, Córdoba-Colombia. *Temas Agrarios*, 22(2), 20–32.

- Millaleo, R., Reyes-Díaz, M., Ivanov, A. G., Mora, M. L., & Alberdi, M. (2010). MANGANESE AS ESSENTIAL AND TOXIC ELEMENT FOR PLANTS: TRANSPORT, ACCUMULATION AND RESISTANCE MECHANISMS. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 10(4), 476–494.
- Ministerio de Educación (2009) Hortalizas con exceso de metales tóxicos. Centro virtual de noticias de educación.
- Miranda, D., Fischer, G., & Carranza, C. (2008). *Calidad de agua de riego en la Sabana de Bogotá*. Bogotá D.C.: Nueva gente editorial. Recuperado en Agosto de 2020, de https://www.researchgate.net/publication/257139332_Calidad_de_agua_de_riego_en_la_Sabana_de_Bogota
- Miranda, D., Carranza, C., Rojas, C. A., Jerez, C. M., Fischer, G., & Zurita, J. (2011). Acumulación de metales pesados en suelo y plantas de cuatro cultivos hortícolas, regados con agua del río Bogotá. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 2 (2), 180-191.
- Mirecki, N., Agič, R., Šunić, L., Milenković, L., & Ilić, Z. S. (2015). Transfer Factor As Indicator. *Fresenius Environmental Bulletin*, 24(11c), 4212. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/285589331>
- Moreno Mariño, Yuri Lorena, García Colmenares, José Mauricio, & Chaparro Acuña, Sandra Patricia. (2016). CUANTIFICACIÓN VOLTAMÉTRICA DE PLOMO Y CADMIO EN PAPA FRESCA. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 19(1), 97-104. Retrieved August 23, 2018, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262016000100011&lng=en&tlng=es.
- MUCHUWETI, M.; BIRKETT, J.; CHINYANGA, E.; ZVAUYA, R.; SCRIMSHA, M.; LESTER, J. 2006. Heavy metal content of vegetables irrigated with mixtures of waste water and sewage sludge in Zimbabwe: Implication for human health. *Agr. Ecosystems and Environment*. 112:41-48.
- Munive Cerrón, Rubén, Gamarra Sánchez, Gilberto, Munive Yachachi, Yveth, Puertas Ramos, Fernando, Valdiviezo Gonzales, Lorgio, & Cabello Torres, Rita. (2020). Absorción de plomo y cadmio por girasol de un suelo contaminado, remediado con enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost. *Scientia Agropecuaria*, 11(2), 177-186. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.02.04>
- Nava-Ruíz, C. & Méndez-Armenta, M., (2011). Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). *Archivos de Neurociencias*, 16(3), pp.140–147
- Nieves-Cordones, M., Thomine, S., Pottier, M., Alejandro santiagoalejandro-, S., Peiter, E., Alejandro, S., ... Meier, B. (2020). Manganese in Plants: From Acquisition to Subcellular Allocation. *Frontiers in Plant Science*, 11(300), 1–23. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00300>
- Nikolic, M., & Pavlovic, J. (2018). Plant Micronutrient Use Efficiency 3 PLANT RESPONSES TO IRON DEFICIENCY AND TOXICITY AND IRON USE EFFICIENCY IN PLANTS. In *Plant Micronutrient Use Efficiency*. Belgrade: University of Belgrade. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812104-7.00004-6>

- Olowoyo, J. O., Van Heerden, E., Fischer, J. L., & Baker, C. (2010). Trace metals in soil and leaves of *Jacaranda mimosifolia* in Tshwane area, South Africa. *Atmospheric Environment*, 44(1), 1826–1830. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.01.048>
- Palmgren, M. (2001). Plant Plasma Membrane H⁺-ATPases: powerhouses for Nutrient Uptake Proton pumps in Arabidopsis View project Plants for a Changing World View project. *Annual Revised Plant Physiological Plant Morphological Biology*, 52(8), 17–45. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.52.1.817>
- Pérez García & Perla Esmeralda & Azcona Cruz & María Isabel, (2012). Los efectos del cadmio en la salud Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas, vol. 17, núm. 3, julio-septiembre, pp. 199-205 Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado. Mexico.
- Pinzón Carlos, (2015). Determinación de los niveles de plomo y cadmio en leche procesada en la ciudad de Bogotá D.C. Universidad Nacional de Colombia.
- Pita Fernández, S., & Pértegas Díaz, S. (2002). Investigación cuantitativa y cualitativa. *Cad Aten Primaria*, 9, 76-78
- Pratap Singh, D., Bahadur Singh, H., & Prabha, R. (2017). *Plant-Microbe Interactions in Agro-Ecological Perspectives Volume 2: Microbial Interactions and Agro-Ecological Impacts*. (D. Pratap Singh, Ed.), *Plant-Microbe Interactions in Agro-Ecological Perspectives* (Vol. 2). Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-6593-4_1
- Prieto, J., González, A., Román, D., & Prieto García, F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(1), 29-44. [fecha de Consulta 13 de Octubre de 2020]. ISSN: . Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=939/93911243003>
- Quintero Castrillon, D., Martinez J. (2010) Prediagnóstico toxicológico de la cuenca alta del río Bogotá. Universidad De La Salle, Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Bogotá.
- Rangnekar, S., Sahu, S., Pandit, G., & Gaikwad, V. (2013). Study of Uptake of Pb and Cd by Three Nutritionally Important Indian Vegetables Grown in Artificially Contaminated Soils of Mumbai, India. *International Research Journal Environment Science*, 2(9), 53–59. Retrieved from www.isca.in
- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Lagos, M. D., & Jimenez, E. E. G. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Ingeniería Investigación y Desarrollo: I2+ D*, 16(2), 66-77.
- Rodríguez Nodals, Adolfo. (2013). Procedimiento analítico para la determinación de metales pesados en zanahoria y espinaca cultivadas en organopónicos urbanos. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(1), 20-26. Recuperado el 23 de agosto de 2020, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542013000100004&lng=es&tlng=es.
- Roholla Mousavi, S., & Rezaei, M. (2011). A General Overview On Manganese (Mn) Importance For Crops Production. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(9), 1799–1803. Retrieved

from

https://www.researchgate.net/publication/216472628_A_General_Overview_On_Manganese_Mn_Importance_For_Crops_Production

- Römhelp, V., & Nikolic, M. (2006). Iron. In A. V. Baker & D. J. Pilbeam (Eds.), *Handbook of Plant Nutrition* (pp. 329–350). Boca Raton, FL: CRC Press.
- Rout, G. R., & Sahoo, S. (2015). ROLE OF IRON IN PLANT GROWTH AND METABOLISM. *Reviews in Agricultural Science*, 3, 1–24. <https://doi.org/10.7831/ras.3.1>
- S. Mounicou, J. Szpunar, D. Andrey, C. Blake & R. Lobinski (2003) Concentrations and bioavailability of cadmium and lead in cocoa powder and related products, *Food Additives & Contaminants*, 20:4, 343-352, DOI: [10.1080/0265203031000077888](https://doi.org/10.1080/0265203031000077888)
- Saad Guitierrez, Jose, (2019). Tendencia en la investigación sobre los metales pesados (Cd, Cr, As, Hg, Pb y Zn) y su afectación en el río Bogotá. (Tesis de pregrado). Recuperado de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/32310/SAADGUTIERREZNESTORJOSE2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sanín, L. et al., (1998). Acumulación de plomo en hueso y sus efectos en la salud. *Salud Pública de México*, 40(4). Available at: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10640409>. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0036-36341998000400009>
- Sarmiento, M. I., Idrovo, Álvaro J., Restrepo, M., Pilar Díaz M., M. del, González, A. (1999). Evaluación del impacto de la contaminación del embalse del Muña sobre la salud humana. *Revista De Salud Pública*, 1(2), 159-171. Recuperado a partir de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/revsaludpublica/article/view/18950>
- Schmidt, W., Thomine, S., & Buckhout, T. J. (2020). Iron Nutrition and Interactions in Plants. *Frontiers in Plant Science*, 10(January), 1–4. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01670>
- Sherameti, I., & Varma, A. (2015). *Heavy metal contamination of soils: monitoring and remediation*. Retrieved from <http://www.springer.com/series/5138>
- Téllez, J., Carvajal, R & Gaitán, A. (2004). Aspectos toxicológicos relacionados con la utilización del cromo en el proceso productivo de curtiembres. *Revista Universidad Nacional, Fac. Medicina*. 52, 50
- Torres D. & Cumana A. (2010) Uso del vetiver para la fitorremediación de cromo en lodos residuales de una tenería. *Rev. Mex. Cienc. Agríc* vol.1 no.2 Texcoco.
- Unión europea, (2006). Reglamento (CE) No 1881/2006 Por el que se fija el contenido máximo de determinados contaminantes en los productos alimenticios. Recuperado de: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:364:0005:0024:ES:PDF>; consultado: octubre 15 de 2020.
- United States Department of Health and Human Services, & Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2012). *TOXICOLOGICAL PROFILE FOR CADMIUM*. Atlanta. Retrieved from <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp5.pdf>

- Uren, N. (2013). Cobalt and Manganese. In B. Alloway (Ed.), *Heavy Metals in Soils 2* (pp. 335–366). Bundoora: La Trobe University.
- Vargas, O., Prieto, G., & González, L. M. (2004). *GEOQUÍMICA DE METALES PESADOS EN SUELOS DE LA CUENCA DEL RÍO BOGOTÁ*. Bogotá D.C.
- Walker, E. L., Connolly, E. L., Reed, J., & Bartel, B. (2008). Time to pump iron: iron-deficiency-signaling mechanisms of higher plants This review comes from a themed issue on Cell signalling and gene regulation Edited by. *Current Opinion in Plant Biology*, 11, 530–535. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2008.06.013>
- Washington State Department of Health. (1999). *Arsenic-Contaminated Soil, Hazards of Short-Term Exposure, 1999 Report*. Retrieved from www.doh.wa.gov/etoxcontact
- Reyes, Y., Vergara, I. Torres, O. Diaz, M., Emir, E. (2016) Contaminación por metales pesados Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria Ingeniería Investigación y Desarrollo: I2+D, ISSN-e 2422-4324, ISSN 1900-771X, Vol. 16, N°. 2, 2016 (Ejemplar dedicado a: julio-diciembre 2016), págs. 66-77.
- Zamani, A., & Yaftian, M. R. (2012). Multivariate statistical assessment of heavy metal pollution sources of groundwater around a lead and zinc plant. *Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 9(29), 1–10. <https://doi.org/10.1186/1735-2746-9-29>
- Zhang, J., Zhou, F., Chen, C., Sun, X., Shi, Y., Zhao, H., & Chen, F. (2018). Spatial distribution and correlation characteristics of heavy metals in the seawater, suspended particulate matter and sediments in Zhanjiang Bay, China. *PLoS ONE*, 13(8), 1–25. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201414>
- Zurera, G. et al., (1987). Lead and cadmium contamination levels in edible vegetables. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 38(5), pp.805–812. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/BF01616705>

17. Anexo

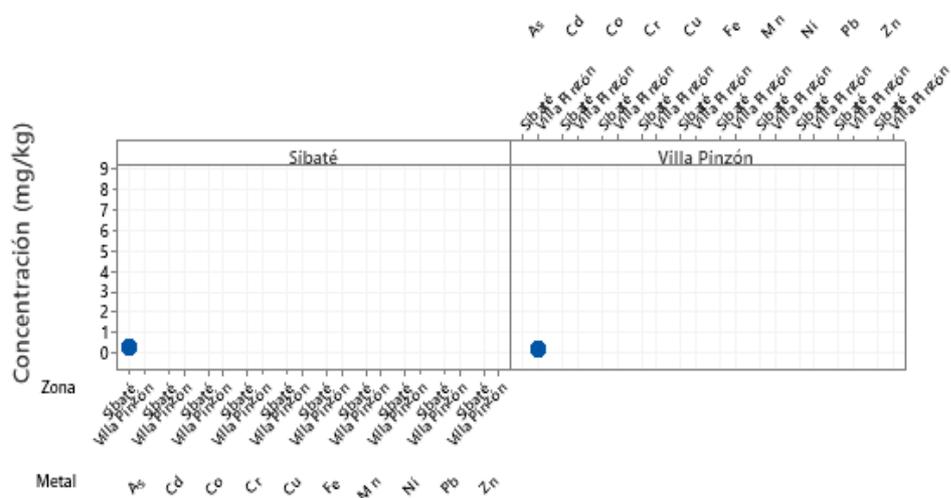
ARSÉNICO EN ARÁNDANOS (FRUTO) Y SUELOS DE VILLAPINZÓN Y SIBATÉ.

Tabla 11 Curva de calibración con patrones Merck para arsénico en equipo Varian

C pmm	A	C 2	A* C	A corregida	
5	0,04910	25	0,2455	0,0288	
10	0,07060	100	0,706	0,0576	
20	0,11860	400	2,372	0,1153	

30	0,16300	900	4,89	0,1729	
sumatoria		1425	8,2135	0,00576386	Factor w
		C2	A*C		
			factor	173,494856	Factor = 1/w

Tabla 12 Intervalos de concentración de las concentraciones de metales pesados de las muestras de suelo y material vegetal de Villapinzón y Sibaté



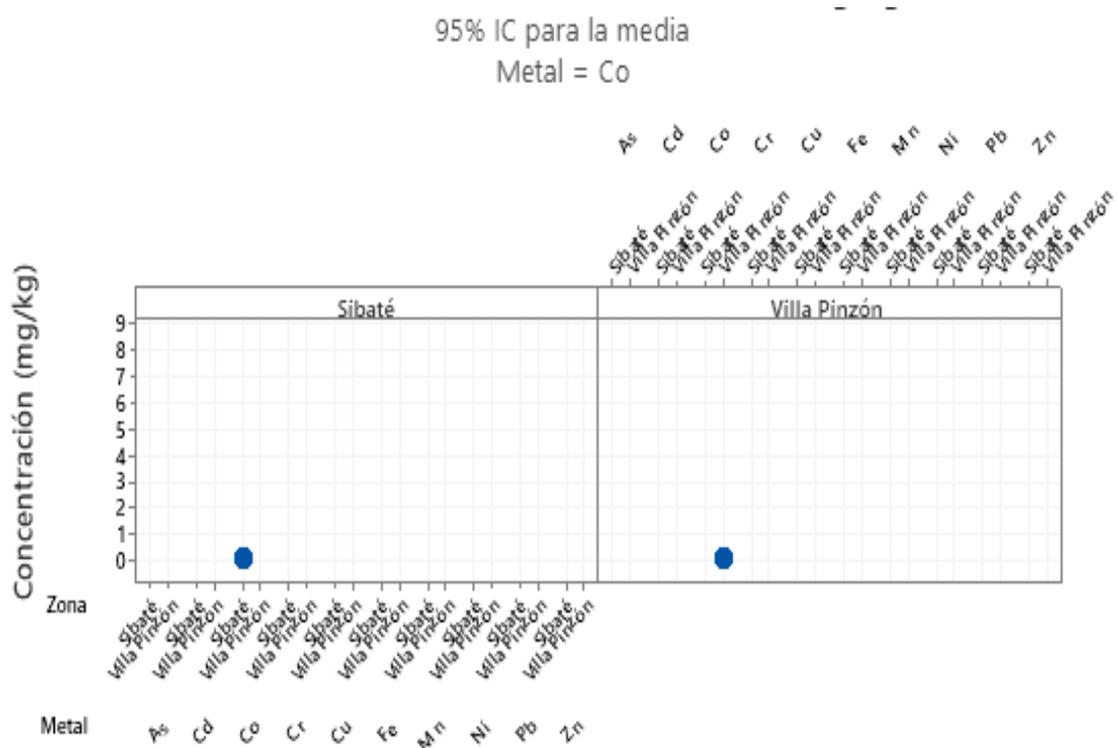
Variable de panel: Zona

Las desviaciones estándar individuales se utilizaron para calcular los intervalos.

Tabla 13 Cobalto arsénico en arándanos (fruto) y suelos de Villapinzón y Sibaté.

DATOS CURVA DE CALIBRACIÓN CON PATRONES MERCK PARA COBALTO					
C	A	C2	A*C	A Corregida	
0,5	0,00450		0,25	0,00225	0,0057
1	0,01100		1	0,011	0,0115
5	0,05760		25	0,288	0,0574
10	0,11480		100	1,148	0,1148
Sumatoria			126,25	1,44925	0,01147920792
		C2	A*C		w
			factor	87,1140245	factor = 1/w

Grafica 6 Intervalos de concentración de las concentraciones de metales pesados de las muestras de suelo y material vegetal de Villapinzón y Sibaté



Variable de panel: Zona

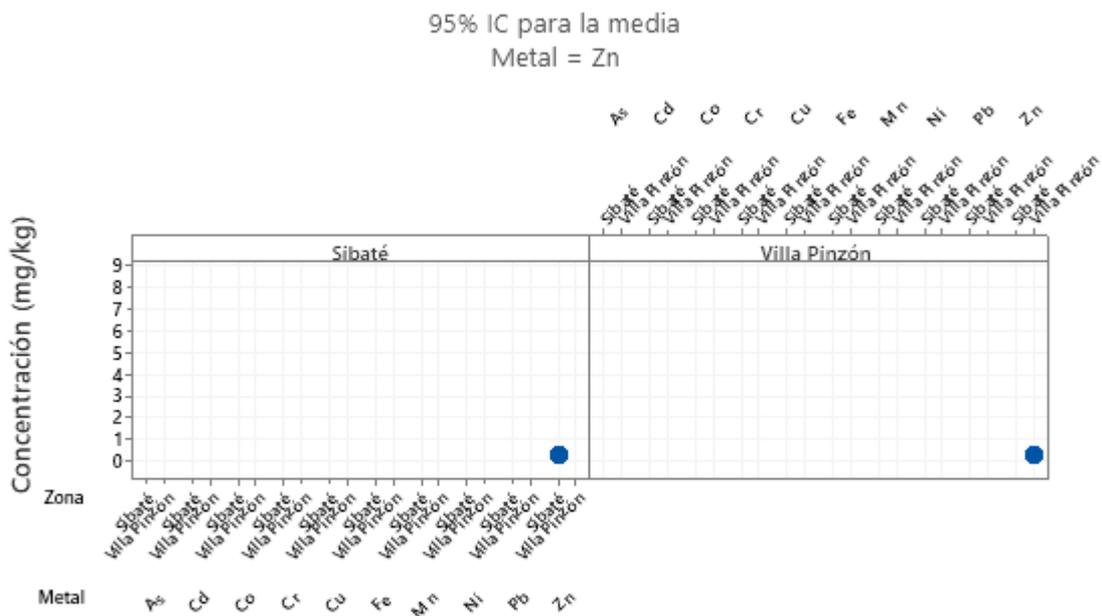
Las desviaciones estándar individuales se utilizaron para calcular los intervalos.

ZINC

Tabla 15 Datos curva de calibración con patrones Merck para zinc equipo Varian

C pmm	A	C 2	A* C	A corregida	Factor
0,1	0,005	0,01	0,0005	0,02840016992	
0,25	0,055	0,0625	0,01375	0,07100042481	
0,5	0,1353	0,25	0,06765	0,1420008496	
0,75	0,2174	0,5625	0,16305	0,2130012744	
1	0,2938	1	0,2938	0,2840016992	
2	0,5663	4	1,1326	0,5680033985	
		5,885	1,67135	0,2840016992	3,521105693

Grafica 8 Intervalos de concentración de las concentraciones de metales pesados de las muestras de suelo y material vegetal de Villapinzón y Sibaté (zinc)



Variable de panel: Zona

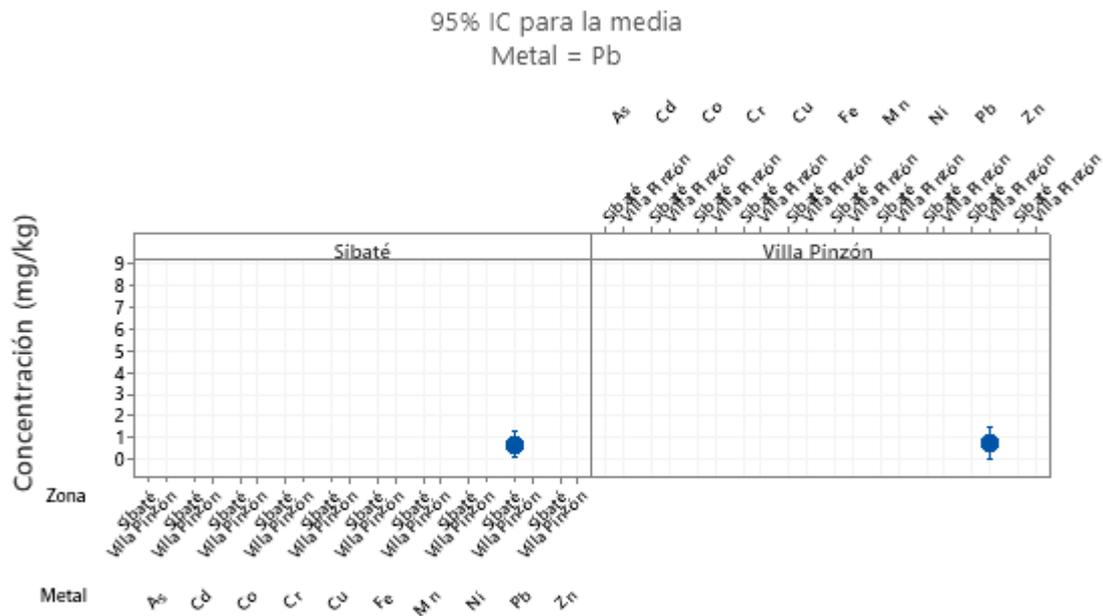
Las desviaciones estándar individuales se utilizaron para calcular los intervalos.

PLOMO

Tabla 16 Datos curva de calibración con patrones Merck para plomo equipo Varian

C pmm	A	C 2	A* C	A corregida	Factor
1	0,0116	1	0,0116	1,6674	
2	0,0231	4	0,0462	3,3348	
3	0,0362	9	0,1086	5,0022	
5	0,0604	25	0,302	8,337	
10	0,1199	100	1,199	16,674	
		139	1,6674	0,01199568345	83,36332014

Grafica 9 Intervalos de concentración de las concentraciones de metales pesados de las muestras de suelo y material vegetal de Villapinzón y Sibaté (plomo)



Variable de panel: Zona

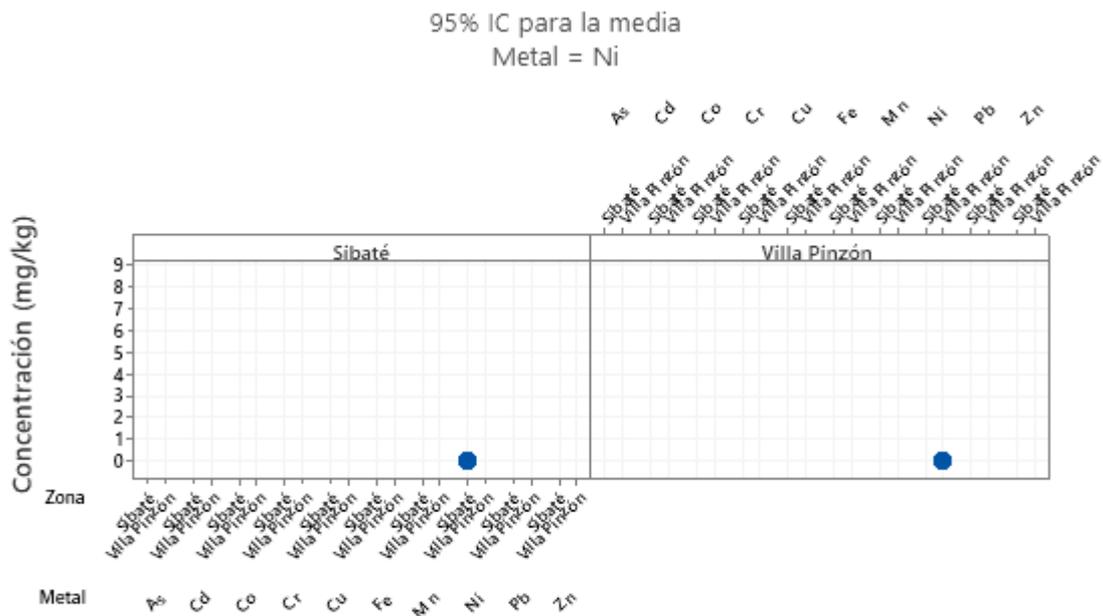
Las desviaciones estándar individuales se utilizaron para calcular los intervalos.

NÍQUEL

Tabla 17 Datos curva de calibración con patrones Merck para níquel equipo Varian

C pmm	A	C 2	A* C	A corregida	Factor
0,5	0,0482	0,25	0,0241	3,5419	
1	0,039	1	0,039	7,0838	
2,5	0,221	6,25	0,5525	17,7095	
5	0,45	25	2,25	35,419	
7	0,6026	49	4,2182	49,5866	
		81,5	7,0838	0,08691779141	11,50512437

Grafica 10 Intervalos de concentración de las concentraciones de metales pesados de las muestras de suelo y material vegetal de Villapinzón y Sibaté (níquel)



Variable de panel: Zona

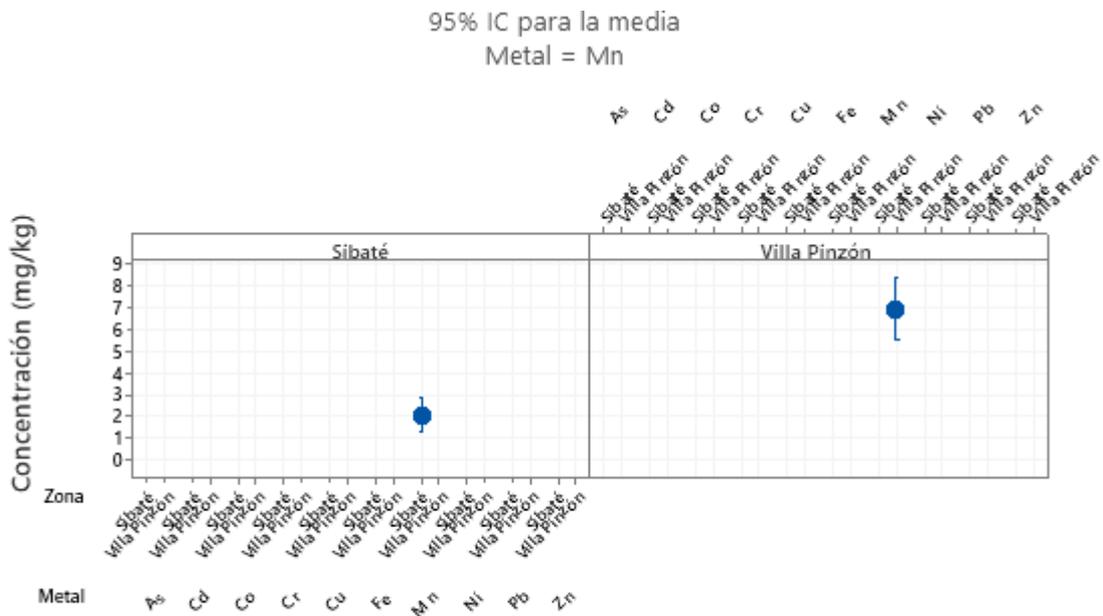
Las desviaciones estándar individuales se utilizaron para calcular los intervalos.

MANGANESO

Tabla 18 Datos curva de calibración con patrones Merck para manganeso equipo Varian

C pmm	A	C 2	A* C	A corregida	Factor
0,3	0,039	0,09	0,0117	0,03829324138	
0,4	0,0586	0,16	0,02344	0,05105765517	
0,5	0,0758	0,25	0,0379	0,06382206897	
1	0,1348	1	0,1348	0,1276441379	
2	0,2704	4	0,5408	0,2552882759	
3	0,3674	9	1,1022	0,3829324138	
		14,5	1,85084	0,1276441379	7,834280651

Grafica 11 Intervalos de concentración de las concentraciones de metales pesados de las muestras de suelo y material vegetal de Villapinzón y Sibaté (manganeso)



Variable de panel: Zona

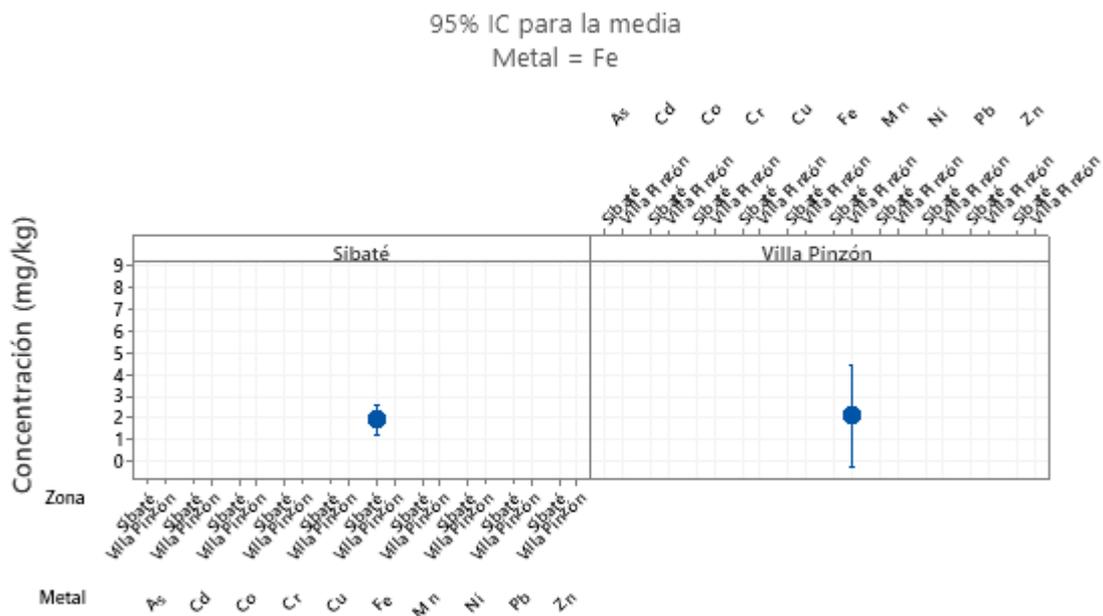
Las desviaciones estándar individuales se utilizaron para calcular los intervalos.

HIERRO

Tabla 19 Datos curva de calibración con patrones Merck para hierro equipo Varian

C pmm	A	C 2	A* C	A corregida	Factor
4	0,2308	16	0,9232	0,2399822439	
4,2	0,2437	17,64	1,02354	0,2519813561	
4,5	0,2727	20,25	1,22715	0,2699800244	
5	0,307	25	1,535	0,2999778049	
6	0,364	36	2,184	0,3599733658	
		114,89	6,89289	0,05999556097	16,66789982

Grafica 12 Intervalos de concentración de las concentraciones de metales pesados de las muestras de suelo y material vegetal de Villapinzón y Sibaté (hierro)



Variable de panel: Zona

Las desviaciones estándar individuales se utilizaron para calcular los intervalos.

CROMO

Tabla 20 Datos curva de calibración con patrones Merck para cromo equipo Varian

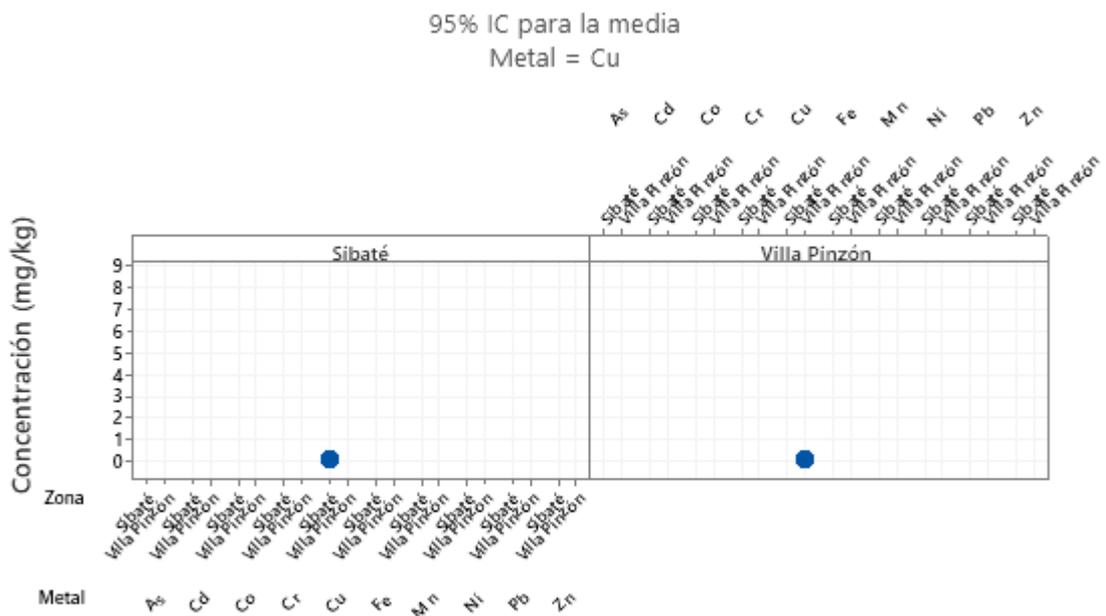
C pmm	A	C 2	A* C	A corregida	Factor
0,1	0,008	0,01	0,0008	1,051253	
0,3	0,0266	0,09	0,00798	3,153759	
0,5	0,0435	0,25	0,02175	5,256265	
1	0,0845	1	0,0845	10,51253	
2,5	0,2182	6,25	0,5455	26,281325	
5	0,4116	25	2,058	52,56265	
10	0,7794	100	7,794	105,1253	
		132,6	10,51253	0,07928001508	12,6135193

COBRE

Tabla 21 Datos curva de calibración con patrones Merck para cobre equipo Varian

C pmm	A	C 2	A* C	A corregida	Factor
1	0,0454	1	0,0454	0,03541079137	
2	0,0841	4	0,1682	0,07082158273	
3	0,12	9	0,36	0,1062323741	
5	0,1839	25	0,9195	0,1770539568	
10	0,3429	100	3,429	0,3541079137	
		139	4,9221	0,03541079137	28,23997887

Grafica 13 Intervalos de concentración de las concentraciones de metales pesados de las muestras de suelo y material vegetal de Villapinzón y Sibaté (cobre)



Variable de panel: Zona

Las desviaciones estándar individuales se utilizaron para calcular los intervalos.