



CUANTIFICACIÓN DE METALES PESADOS EN EL FRUTO DE *Fragaria x ananassa* Duch. cv. Albión (FRESA) CULTIVADO EN EL MUNICIPIO DE SIBATÉ, CUNDINAMARCA.

Yilbert Felipe Gutiérrez Vargas

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

CUANTIFICACIÓN DE METALES PESADOS EN EL FRUTO DE *Fragaria x ananassa* Duch. cv. Albión (FRESA) CULTIVADO EN EL MUNICIPIO DE SIBATÉ, CUNDINAMARCA.

Yilbert Felipe Gutiérrez Vargas

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

Director:
Oscar Eduardo Rodríguez Aguirre

Grupo de investigación:
Producción limpia Choc-izone

Línea de Investigación:
Salud y Ambiente

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

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 velara por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia.

Dedicatoria

A mi hermano, aunque no esté presente, sus enseñanzas y amor están en cada respiro. Con todo el amor.

A mis padres por estar presentes en cada etapa de mi vida y del presente proyecto. A mi hermana, que es una fuente constante de inspiración y apoyo para todas las situaciones de la vida.

A mi compañera de vida, de alegrías y tristezas, por estar presente y ser mi apoyo incondicional, no solo en la realización de este proyecto, sino también en mi diario vivir.

Agradecimientos

Agradezco a el director de este proyecto, el profesor Oscar Rodríguez, por estar presente en cada una de las etapas de esta investigación. A Luis Miguel Pombo y Crispín Celis pertenecientes a la fundación Universitaria Juan N. Corpas y a las Pontificia Universidad Javeriana respectivamente, por facilitar instrumentos e instalaciones para el desarrollo del presente proyecto.

De igual forma, agradezco a la Universidad El Bosque, la fundación universitaria Juan N. Corpas y la Pontificia Universidad Javeriana por apoyar la realización de este proyecto.

Tabla de contenido

1. Introducción	13
2. Planteamiento del problema.....	15
3. Hipótesis.....	17
3.1 Ho.	17
3.2 Ha.	17
4. Pregunta de Investigación	17
5. Objetivos	18
5.1 Objetivo General.....	18
5.2 Objetivos Específicos	18
6. Justificación	19
7. Marco de referencia	21
7.1 Estado del Arte	21
7.2 Marco Teórico	24
7.2.1 Consecuencias en el medio ambiente	24
7.2.2 Implicaciones a la salud y medio ambiente debido a metales pesados	24
7.3.3 Contaminación por metales pesados en el embalse El Muña y cuerpos hídricos circundantes.....	25
7.4 Marco conceptual.....	26
7.5 Marco legal	30
7.5.1 Normatividad Nacional.....	30
7.5.2 Normatividad Internacional.....	33
7.6 Marco geográfico	34
7.6.1 Zona de estudio	35
7.7 Marco Institucional.....	35
7.7.1 Organigrama Marco Institucional	35
8. Marco Metodológico.....	36
8.1 Diseño.....	36
8.2 Enfoque	36
8.3 Alcance	36
8.4 Unidad de análisis	37
8.5 Informantes	37
8.6 Dimensiones, variables, técnicas e instrumentos.....	37
8.7 Objetivo Específico I.....	38

8.8	Objetivo específico II	40
8.9	Objetivo específico III	41
8.10	Técnicas e instrumentos	42
9	Resultados	46
9.1	Arsénico	46
9.2	Cobalto	47
9.3	Cadmio	49
9.4	Plomo.....	51
9.5	Cromo	53
10.	Análisis de Resultados.....	56
10.1	Objetivo Específico 1	56
10.2	Objetivo Específico 2	65
10.3	Objetivo Específico 3	71
10.3.1	Cadmio.....	72
10.3.2	Cobalto	73
10.3.3	Cromo	73
10.3.4	Arsénico	73
10.3.5	Plomo.....	74
11.	Conclusiones	75
12.	Recomendaciones	76
13.	Referencias	77
14.	Anexos.....	81
14.1	Anexo 1. Registro Fotográfico Salida de Campo	81
14.2	Anexo 2. Registro Fotográfico Práctica de Laboratorio.....	81
14.3	Anexo 3. Fichas técnicas	85
14.4	Anexo 4. Cronograma y Presupuesto (Adjunto)	86

Lista de tablas

Tabla 1 Efectos de los Metales Pesados en la Salud Humana	16
Tabla 2 Estado del Arte.....	21
Tabla 3 Normatividad Nacional	30
Tabla 4 Límites Establecidos en la Resolución 4506 de 2013	33
Tabla 5 Límites Establecidos en la Normatividad Internacional	33
Tabla 6 Características Geográficas del Municipio de Sibaté.....	34
Tabla 7 Dimensiones, Variables, Técnicas e Instrumentos para Objetivos Específicos 1 y 2	37
Tabla 8 Dimensiones, Variables, Técnicas e Instrumentos para el Objetivo Específico 3	37
Tabla 9 Muestreo y Pesaje de Suelo y Fresa de la Finca El Rosal en el Municipio de Sibaté	39
Tabla 10 Longitudes de Onda y Corrientes de la Lámpara Respectivas Para Cada Metal Analizado	42
Tabla 11 Ejemplo de Calibración: Arsénico	43
Tabla 12 Resultados Arsénico Suelo.....	47
Tabla 13 Resultados Arsénico Fresa	47
Tabla 14 Resultados Cobalto Suelo	48
Tabla 15 Resultados Cobalto Fresa.....	49
Tabla 16 Resultados Cadmio Suelo	50
Tabla 17 Resultados Cadmio Fresa.....	51
Tabla 18 Resultados Plomo Suelo.....	52
Tabla 19 Resultados Plomo Fresa	53
Tabla 20 Resultados Cromo Suelo	54
Tabla 21 Resultados Cromo Fresa	55
Tabla 22 Compilación de Resultados Suelo.....	56
Tabla 23 Compilación de Resultados Fruto	56
Tabla 24 Método (ANOVA) Objetivo Específico 1	58
Tabla 25 Análisis de Varianza (ANOVA) Objetivo Específico 1	58
Tabla 26 Resumen del Modelo ANOVA	58
Tabla 27 Medias (ANOVA) Objetivo Específico 1	59
Tabla 28 Agrupación de Información Método Tukey, Objetivo Específico 1	59
Tabla 29 Pruebas Simultáneas de Tukey, Objetivo Específico 1	60
Tabla 30 Correlaciones, Objetivo Específico 1	62
Tabla 31 Correlaciones en parejas de Spearman, Objetivo Específico 1	63
Tabla 32 Porcentajes de Transferencia de Fragaria x ananassa Duch. cv. Albión.....	65
Tabla 33 Método (ANOVA) Objetivo Específico 2	66
Tabla 34 Análisis de Varianza (ANOVA) Objetivo Específico 2	66
Tabla 35 Agrupación de la información método de Tukey, Objetivo Específico 2	67
Tabla 36 Correlaciones en parejas de Spearman, Objetivo Específico 2	70
Tabla 37 Comparación de Resultados con Normatividad Nacional e Internacional.....	72

Lista de Figuras

Figura 1 Zona de Muestreo en el Municipio de Sibaté	35
Figura 2 Organigrama Marco Institucional.....	35
Figura 3 Organigrama Diseño Secuencial.....	36
Figura 4 Flujograma Metodología Objetivo Específico 1.....	38
Figura 5 Flujograma Metodología Objetivo Específico III.....	41
Figura 6 Curva de Calibración - Solución Patrón Arsénico.....	44
Figura 7 Corrección de la Curva Patrón Arsénico	44
Figura 8 Curva de Calibración As.....	46
Figura 9 Curva de Calibración Co.....	48
Figura 10 Curva de Calibración Cd.....	50
Figura 11 Curva de Calibración Pb.....	52
Figura 12 Curva de Calibración Cr	54
Figura 13 Metales Pesados en Suelo y Fruto	57
Figura 14 Metales Presentes en Suelo Y Fruto	57
Figura 15 ICs Simultáneos de Tukey	61
Figura 16 Gráfica de Intervalos.....	61
Figura 17 Gráfica de Matriz.....	62
Figura 18 Porcentaje de Transferencia.....	66
Figura 19 ICs Simultáneos de Tukey	68
Figura 20 Gráfica de Caja Estadísticas Metales.....	69
Figura 21 Gráfica de Matriz.....	69
Figura 22 Gráfica de Caja Concentraciones Finales	71
Figura 23 Mortalidad en Sibaté, 2017.....	74

Lista de anexos

Figura I Fresa Recolectada para Comercialización en la Finca El Rosal.....	81
Figura II Cultivo Finca el Rosal.....	81
Figura III Almacenamiento de Muestras en Fresco.	81
Figura IV Fragaria x ananassa Duch. cv. Albión Sibaté.....	81
Figura V Pesaje de Muestras.....	81
Figura VI Pesaje de suelo.....	81
Figura VII Procesamiento Inicial de Muestras fundación Juan N. Corpas	81
Figura VIII Digestión Ácida en Frío. Ácido Clorhídrico.....	82
Figura IX Digestión Ácida en Frío. Ácido Nítrico.....	82
Figura X Digestión Ácida en Frío.	82
Figura XI Digestión Ácida en Frío. Relación 1:1	82
Figura XII Digestión Ácida en Frío. Obtención de Cloruros y Nitratos.	82
Figura XIII Registro Muestras Después de 30 días.....	82
Figura XIV Filtración de Muestras.	83
Figura XV Filtración. Procesamiento de Muestras	83
Figura XVII Filtración y Aforo a 50ml con agua T1	83
Figura XVI Agua T1.	83
Figura XVIII VARIAN AA-140 Pontificia Universidad Javeriana.....	84
Figura XIX Transporte de Muestras a la Pontificia Universidad Javeriana.....	84
Figura XX Almacenamiento Muestras Ámbar.....	84
Figura XXI Ficha Técnica Cadmio	85
Figura XXII Ficha Técnica Cobalto.....	85
Figura XXIII Ficha Técnica Cromo	85
Figura XXIV Ficha Técnica Plomo	85
Figura XXVFicha Técnica Arsénico.....	86

Resumen

El actual aumento de enfermedades relacionadas al consumo de alimentos por la presencia de metales pesados en aguas de riego, origina una creciente problemática para la salud de las personas; la toxicidad de los metales pesados junto con su capacidad de bioacumulación y biomagnificación genera un riesgo significativo en el consumo de alimentos posiblemente contaminados. El presente trabajo de investigación se realizó con el objetivo de cuantificar metales pesados como el Arsénico, Cobalto, Cadmio, Plomo y Cromo en fresas Albión recolectadas en el municipio de Sibaté, vereda El Perico, finca El Rosal y así determinar su inocuidad alimentaria. Se compararon los resultados obtenidos con los límites permitidos a nivel nacional e internacional, logrando establecer el riesgo de salud pública relacionado directamente a la inocuidad alimentaria. Se tomaron 9 muestras aleatorias de suelo y fruto en los cultivos de la finca El Rosal para realizar el procedimiento de digestión ácida en frío, usando 10 ml de ácido clorhídrico (HCl) y ácido nítrico (HNO₃) 1:1 durante 30 días, para posteriormente filtrar y llevar a un aforo de 50 ml con agua T1. La concentración de metales pesados se evaluó mediante la técnica de absorción atómica empleando el equipo VARIAN AA-140 de la Pontificia Universidad Javeriana. Los resultados determinaron la concentración en ppm en el fruto y suelo de Arsénico (0,1893 ± 0,0370) (0,4512±0,1024), Cobalto (0,0283±0,0028) (0,0599±0,0094), Cadmio (0,0115±0,0017) (0,0289±0,0032) Plomo (0,4518±0,2415) (0,9889±0,5016) y Cromo (0,6777±0,1120) (1,4430±0,0900) respectivamente. Lo que permitió llegar a la conclusión de que *Fragaria x ananassa* Duch. cv. Albión *no* cumple con la normativa nacional e internacional establecida, debido a que las concentraciones de As, Co, Pb y Cr superaron los niveles establecidos, evidenciando el riesgo existente al consumir alimentos cultivados en esta zona.

Palabras clave: Alimentos, Cuantificación, Fresa, Inocuidad Alimentaria, Metales Pesados, Normatividad.

Abstract

The current increase in diseases related to the consumption of food due to the presence of heavy metals in irrigation water, causes a growing problem for the health of people, the toxicity of heavy metals along with its capacity for bioaccumulation and biomagnification generates a significant risk in the consumption of possibly contaminated food. The present research work was carried out with the aim of quantifying heavy metals such as Arsenic, Cobalt, Cadmium, Lead and Chrome in Albion strawberries collected in the municipality of Sibaté, El Perico village, El Rosal farm and thus determine their food safety. The results obtained were compared with the limits allowed at national and international level, managing to establish the public health risk directly related to food safety. Nine random samples of soil and fruit were taken from the crops at El Rosal farm to perform the cold acid digestion procedure, using 10 ml of hydrochloric acid (HCl) and nitric acid (HNO₃) 1:1 for 30 days, and then filtered and brought to a 50 ml capacity with T1 water. The concentration of heavy metals was evaluated by the atomic absorption technique using the VARIAN AA-140 equipment from the Pontificia Universidad Javeriana. The results determined the concentration in ppm in the fruit and soil of Arsenic (0.1893 ± 0.0370) (0.4512 ± 0.1024), Cobalt (0.0283 ± 0.0028) (0.0599 ± 0.0094), Cadmium (0.0115 ± 0.0017) (0.0289 ± 0.0032), Lead (0.4518 ± 0.2415) (0.9889 ± 0.5016) and Chromium (0.6777 ± 0.1120) (1.4430 ± 0.0900) respectively. This allowed us to conclude that *Fragaria x ananassa* Duch. cv. Albión does not comply with the established national and international regulations, because the concentrations of As, Co, Pb and Cr exceeded the established levels, evidencing the existing risk when consuming food grown in this area.

Keywords: Food, Food Safety, Heavy Metals, Quantification, Regulations, Strawberry.

1. Introducción

Sibaté es uno de los municipios más prósperos del departamento de Cundinamarca, ubicado a 27 kilómetros al sur de la ciudad de Bogotá, hace parte de la sabana sur occidental y dispone de perfectas condiciones de desplazamiento y movilización. Cuenta con una población aproximada de 38.000 habitantes, una temperatura promedio de 14°C y una altura sobre el nivel del mar de 2.700 metros. Su economía se basa en la agricultura y la ganadería, siendo sus principales productos la fresa, papa, arveja y uchuva. (Alcaldía de Sibaté, 2016)

La agricultura desempeña un papel fundamental en la economía del país, proporcionando alimentos y materias primas para las personas e industrias, además de constantes oportunidades de empleo. Entre las funciones para el desarrollo llevadas a cabo por la agricultura, se resalta el crecimiento económico, la sostenibilidad ambiental, la reducción de la pobreza y el hambre y el mejoramiento de los niveles de equidad y seguridad alimentaria. (Hernández, 2009)

Dentro de las más de 160 especies del género *Fragaria*, se puede mencionar el híbrido resultante del cruce de *Fragaria chiloensis* y *Fragaria virginiana* que dio como resultado a *Fragaria x ananassa* Duch. cv. Albión, nombre con que se conoce a todas las variedades de fresa. En el presente estudio, se trabajó con la variedad conocida como albión, gracias a su amplia producción en el municipio debido a sus llamativas características para el mercado. La fresa se encuentra dispersa por todo el mundo, su procedencia varía en dos zonas: los Alpes europeos y el sur de Chile. Es una especie hortícola, considerada como herbácea y se caracteriza principalmente porque las hojas y sus demás órganos se desarrollan en la parte leñosa de la corona. Su desarrollo óptimo se da entre los 1200 y 2600 msnm, con una temperatura adecuada diurna de 15-18°C y nocturna de 10-13°C; su sabor es condicionado por balances de azúcar y ácidos, el olor es característico, el fruto debe ser de un color rojizo oscuro y uniforme, su pulpa es de color blanco o rojizo dependiendo de su variedad y su textura es suave con firmeza moderada. (DANE, 2018)

La producción de alimentos sanos es una preocupación constante tanto para productores como para los organismos del Estado encargados de velar por la salud de los consumidores y la sociedad en general. La calidad de los alimentos es una característica compleja que determina el valor final del producto comercializado, el cual abarca atributos negativos y positivos del mismo. Se deben tener en cuenta cualidades como el valor nutricional, sensorial, de servicios e inocuidad; referentes a la ausencia de contaminantes, adulterantes, toxinas y cualquier sustancia que pueda significar una alteración biológica, física y/o química al estado de salud de los consumidores. (Ortiz - Martínez, 2011)

La contaminación por metales pesados es una de las problemáticas que más afecta actualmente la agricultura en Colombia; su presencia se da por vía natural y antropogénica, logrando movilizarse en matrices de agua, suelo y aire. Son considerados persistentes debido a que no pueden ser creados o degradados, ni mediante procesos biológicos ni antropogénicos. La inhalación y la ingesta de alimentos son dos de las causas más relevantes de contaminación e intoxicación; los efectos y consecuencias dependen directamente del tipo de metal, su concentración y el tiempo de exposición, siendo directamente proporcional a la facilidad de ser absorbidos por los seres vivos. Una de las causas más comunes de la incorporación de metales pesados en los alimentos es a través de los sistemas de riego, ya sea por el uso de aguas contaminadas o por contaminación durante el proceso productivo. (Combariza, 2009)

Debido a lo anterior y a que las aguas para regar los cultivos provienen del río Muna, que recibe aguas del embalse El Muña, conocido por sus altos niveles de contaminación provenientes por la cuenca alta y media del Río Bogotá, surge la necesidad de investigar cuantitativamente las concentraciones de metales pesados como el Arsénico, Cobalto, Cadmio, Plomo y Cromo en los cultivos de *Fragaria x ananassa* Duch. cv. Albión en el municipio de Sibaté, para poder determinar su inocuidad alimentaria de acuerdo a los parámetros establecidos en un ámbito Nacional e Internacional.

2. Planteamiento del problema

El crecimiento demográfico y el desarrollo agroindustrial de las últimas décadas en la sabana de Bogotá ha significado un incremento constante en la cantidad de residuos vertidos a los cuerpos hídricos de la zona como producto de actividades antrópicas que a través de los años han deteriorado notablemente la calidad de los mismos; llevando a un aumento en la demanda de recursos para suplir las necesidades de la población. La calidad de estos alimentos debe ser supervisada desde el cultivo de la semilla, en donde surge el concepto de inocuidad alimentaria; es necesario un control tanto de la calidad de los suelos en donde se cultiva como de las aguas destinadas al riego, en las que debido al excesivo uso de fertilizantes y abonos se ha concentrado y aumentado los niveles de toxicidad y, por ende, el riesgo a desarrollar enfermedades por parte de los consumidores.

El municipio de Sibaté y los cuerpos hídricos circundantes ubicados en cercanías del embalse El Muña se ven fuertemente afectados debido a los grandes niveles de contaminación del mismo. Entre las fuentes de contaminación se destacan el bombeo constante de agua del Río Bogotá para suplir con necesidades de aforo, los vertimientos domésticos, residuos sólidos, la industria y la agricultura; las concentraciones de metales, solventes, grasas, aceites, materia orgánica, residuos de plaguicidas del Río Bogotá generan impactos tales como la contaminación de los suelos por el uso de agua proveniente del embalse para riego de terrenos y cultivos, la constante emanación de gases de mal olor debido a la descomposición de la materia orgánica y la eutrofización. (Combariza, 2009)

Metales pesados como el B, Cu, Co, Fe, Mn, Mo, Ni y Zn son requeridos en pequeñas cantidades y son necesarios para que muchos organismos completen su ciclo de vida; sus concentraciones oscilan entre 0,1 y 0,001 mg·kg⁻¹, pero al pasar estas concentraciones se logra evidenciar su potencial tóxico tanto en los seres humanos como en el medio ambiente. Existen varios metales pesados como el Cd, Hg y Pb que no tienen una función biológica conocida, cuya presencia en determinadas concentraciones en los seres vivos ocasiona alteraciones al funcionamiento de los organismos. (Durán, 2010) La contaminación en los suelos por metales pesados es de gran interés debido a las implicaciones tanto ambientales como en la salud humana, ya que estos elementos en altas concentraciones tienen efectos tóxicos y son capaces de alterar las condiciones de los ecosistemas. Además, estos elementos no son biodegradables y tienen la capacidad de acumularse en las alimentos, plantas y animales y de tal forma llegar a biomagnificarse a lo largo de la cadena trófica (Pajoy, 2017). La alta concentración de metales pesados en los suelos y agua puede generar consecuencias en los ecosistemas como la ausencia inicial de vegetación, pérdida de su productividad y la disminución de la biodiversidad. En cuanto al ser humano, los metales pesados pueden producir diferentes tipos de impactos en su organismo, los cuales están contemplados en la Tabla número 1.

Tabla 1 Efectos de los Metales Pesados en la Salud Humana

Efectos de los Metales Pesados en la Salud Humana (Bayón, 2015)

<u>Metal Pesado</u>	<u>Efecto en la salud</u>
Arsénico (As)	Es análogo al fosfato y causa interferencias en procesos celulares esenciales como lo es la síntesis de ATP, manifestaciones cutáneas, cánceres viscerales y enfermedades vasculares.
Cadmio (Cd)	Mutagénico, teratogénico; disruptor endocrino, interferencias con el calcio en la regulación de sistemas biológicos, causa fallo renal y anemia crónica, efectos cancerígenos.
Cobalto (Co)	Esterilidad, pérdida del pelo, vómitos, sangrado, diarrea, coma e incluso la muerte.
Cromo (Cr)	Dolor de cabeza, diarrea, náuseas, vómito y pérdida del cabello.
Plomo (Pb)	Teratogenicidad cerebral, enfermedades renales, vasculares y neuronales.

3. Hipótesis

3.1 Ho.

La concentración de metales pesados (Arsénico, Cobalto, Cadmio, Plomo y Cromo) en el fruto *Fragaria x ananassa* Duch. cv. Albión cultivado en el municipio de Sibaté – Cundinamarca supera los rangos establecidos en normas nacionales e internacionales.

3.2 Ha.

La concentración de metales pesados (Arsénico, Cobalto, Cadmio, Plomo y Cromo) en el fruto *Fragaria x ananassa* Duch. cv. Albión cultivado en el municipio de Sibaté – Cundinamarca no supera los rangos establecidos en normas nacionales e internacionales.

4. Pregunta de Investigación

¿Las concentraciones de metales pesados como el Arsénico, Cobalto, Cadmio, Plomo y Cromo presentes en *Fragaria x ananassa* Duch cv. Albión cultivadas en el municipio de Sibaté – Cundinamarca cumplen con la normativa establecida nacional e internacionalmente?

5. Objetivos

5.1 Objetivo General

Establecer la inocuidad alimentaria de *Fragaria x ananassa* Duch. cv. Albión, especie cultivada en la finca El Rosal en el municipio de Sibaté – Cundinamarca, de acuerdo con la normatividad establecida nacional e internacionalmente para concentraciones de metales pesados como el Arsénico, Cobalto, Cadmio, Plomo y Cromo.

5.2 Objetivos Específicos

1. Determinar la concentración de metales pesados como el Arsénico, Cobalto, Cadmio, Plomo y Cromo acumulados en suelo y fruto de *Fragaria x ananassa* Duch. cv. Albión, cultivada en el municipio de Sibaté – Cundinamarca finca El Rosal, por la técnica de absorción atómica.
2. Analizar el porcentaje de transferencia de metales pesados como el Arsénico, Cobalto, Cadmio, Plomo y Cromo entre el suelo y el fruto de *Fragaria x ananassa* Duch. cv. Albión.
3. Comparar las concentraciones encontradas en el fruto de *Fragaria x ananassa* Duch. cv. Albión con la normatividad nacional e internacional.

6. Justificación

El concepto de salud pública y sus implicaciones han variado a lo largo de la historia debido a su complejidad según la época; en 1920, Charles Edward Amory Winslow definió la salud pública como “la ciencia y el arte de prevenir enfermedades, prolongar la vida, fomentar la salud y la eficiencia física y mental, mediante el esfuerzo organizado de la comunidad...”. En Colombia, la Política Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional (PSAN – CONPES 113 de 2007) define la Seguridad alimentaria y nutricional como “la disponibilidad suficiente y estable de alimentos, el acceso y el consumo oportuno y permanente de los mismos en cantidad, calidad e inocuidad por parte de todas las personas, bajo condiciones que permitan su adecuada utilización biológica, para llevar una vida saludable y activa.” Por lo tanto, se puede inferir que la salud pública no incluye solamente problemas que deriven de aspectos sociales, culturales, éticos o biológicos, sino también, temas como la nutrición y la alimentación saludable, donde se incluye tanto la calidad de los alimentos como la inocuidad de los mismos. Las enfermedades transmitidas por alimentos (ETA) constituyen una importante problemática debido al incremento constante de su ocurrencia, el surgimiento de nuevas formas de transmisión, aparición de nuevos grupos vulnerables, el aumento de la resistencia de los patógenos conocidos a los compuestos antimicrobianos implementados y el impacto socioeconómico que ocasionan. (INS, 2018). Según OMS (2020), la inocuidad de los alimentos junto con la nutrición y la seguridad alimentaria están inevitablemente relacionados, debido a que los alimentos catalogados como insalubres generan un círculo vicioso de enfermedades (que van desde diarrea y meningitis hasta enfermedades mortales como el cáncer) y malnutrición, afectando principalmente a lactantes, niños pequeños y ancianos. Se estima que anualmente en el mundo se enferman alrededor de 600 millones de personas por ingerir alimentos higiénicamente comprometidos, causando la muerte de al menos 420.000 personas.

En el informe anual del Banco Mundial del año 2018, se destaca la carga económica de las enfermedades de transmisión alimentaria, indicando un costo de pérdida de productividad asociada a este tipo de enfermedades en países de ingresos medios o bajos de al menos 95,2 millones de dólares anuales, junto con un costo anual de tratamiento de 15 millones de dólares; por lo tanto, estas enfermedades no solo repercuten de forma significativa en la salud de las personas, sino que también tienen consecuencias económicas para los individuos, familias, comunidades, empresas y países, generando una considerable carga a los sistemas de salud, llegando a reducir su productividad económica.

La presencia de metales pesados en alimentos debido a la contaminación de cuerpos hídricos, suelo y aire, genera una problemática ya que los daños que ocasiona no tienen repercusiones solamente en el ambiente sino también en materia de salud pública. Estos metales se emplean en la minería, industria de abonos, pilas, combustibles, entre muchos otros. Tienen la capacidad de acumularse en alimentos, animales, plantas y agua; siendo muy resistentes a la degradación, dificulta en gran medida su eliminación durante el procesamiento de los alimentos destinados para comercialización. (Londoño et al., 2016, p. 149)

Según Galindo (2015), los bogotanos con edades entre los 15 y 39 años consumen alrededor de 4 a 7 porciones de fruta a la semana, entre las que se destaca la fresa, la papaya y el mango. Cabe resaltar, que, en Colombia, en el año 2018, se produjeron 85.011 toneladas de fresa, siendo el departamento de Cundinamarca el de mayor participación, con un 65,5%, seguido por Antioquia, con un 16,9%. El municipio de Sibaté se destaca por una producción anual de 15.960 toneladas, seguido de Facatativá con 6.822 toneladas y Soacha con 5.757 toneladas (CCB 2015). Esta investigación permite analizar de una forma cualitativa y cuantitativa la concentración de metales pesados de *Fragaria x ananassa* Duch. cv.

Albión producida en el municipio de Sibaté, a fin de determinar los posibles riesgos en la salud de los consumidores.

Es una problemática concerniente al campo de la Ingeniería Ambiental debido a que se estudian problemáticas ambientales de forma científica e integrada, teniendo en cuenta dimensiones químicas, ecológicas, biológicas, sociales, económicas y tecnológicas con el fin de promover un ambiente apto para el desarrollo social; debido a la verdadera incidencia e importancia de esta problemática en no solo el municipio, sino también en el departamento e incluso el país y sus exportaciones, se van a tener en cuenta los Objetivos de Desarrollo Sostenible-ODS como el número 3 (Salud y Bienestar), el número 12 (Producción y consumo responsable) y el número 15 (vida de ecosistemas terrestres).

7. Marco de referencia

7.1 Estado del Arte

Tabla 2 Estado del Arte

Estado del Arte

<u>Título</u>	<u>Autor(es)</u>	<u>Relevancia</u>
Cuantificación de metales pesados en el cultivo de la fresa (<i>Fragaria x ananassa</i> Duch. Var. Festival) en tenancingo y vulla guerrero, estado de México. (2017)	G.I. Dotor-López, A. Zúñiga-Cruz, R.G. Cruz-Monterrosa, M. Díaz-Ramírez and Rayas-Amor A.A.	Estudia los impactos ambientales generados por la agricultura debido al uso de agroquímicos teniendo en cuenta sus concentraciones. Determina la presencia de metales pesados como el Al, As, Cr, Pb, Cu y Zn en fresa, además de analizar el suelo y el agua empleados para su producción. Se emplea metodología similar, espectrofotometría de absorción atómica.
Cuantificación de metales pesados y calidad microbiológica de frutas y vegetales que se expenden en el mercado Mayorista de la ciudad de Ambato. (2017)	Arancibia Soria, Mirari Yosune Fiallos Morales y Maura Cristina.	Se analizan catorce muestras para determinar concentraciones de arsénico, cromo y manganeso, a fin de determinar su diferencia con la normativa establecida, a fin de determinar niveles de inocuidad alimentaria debido a que los productos son distribuidos a todo México a través de un mercado mayorista; análisis y metodología similar.

Cuantificación de Metales Pesados como el Cobre (Cu), Cadmio (Cd) y Cromo (Cr) en Alfalfa (<i>Medicago sativa</i>) variedad California en el pueblo tradicional de Congata. (2018)	María de los ángeles Nuñez Alberca.	Se cuantifica la concentración de metales pesados en una especie vegetal a fin de comparar los resultados con normativa internacional; además de que la especie estudiada es consumida por ganado destinado para la producción de leche. Objetivos planteados similares, contexto internacional.
--	-------------------------------------	--

Contaminación por metales pesados. Implicaciones en la salud, ambiente y seguridad alimentaria. (2016)	Yulieth Reyes, Inés Vergara, Omar Torres, Mercedes Díaz Lagos, Edgar Emir González Jimenez	Expone la importancia de la contaminación por metales pesados, su influencia en la seguridad alimentaria y la salud pública en una escala local y global. Se expone una descripción sobre las posibles fuentes de contaminación a recursos hídricos, suelos, aire y seres vivos junto con la incorporación y retención en alimentos y productos destinados al consumo humano.
--	--	---

Riesgo agroambiental por metales pesados en suelos con Cultivares de <i>Oryza sativa</i> L y <i>Solanum tuberosum</i> L. (2015)	Ing. Welbry Delince, Dr.C. Ramiro Valdés Ing. Carmenate, Ing. López Olivia Dr.C. Morgado, Dr.C. Fernando Guridi Dr.C. Izquierdo, Dr.C. María I. Balbín Arias	Expone y confirma los riesgos al uso no controlado de agroquímicos en materia de agroecosistemas. Se establece como objetivo determinar la concentración de metales pesados en papa y arroz en condiciones normales, a fin de determinar la problemática existente para los habitantes de la zona y los consumidores finales. Plantea gráficas, análisis y posibles soluciones a las problemáticas de forma argumentativa y ordenada.
---	--	---

Los ámbitos normativos, la gestión de la calidad y la inocuidad alimentaria: una visión integral. (2007)	Carmen Mercado E.	Determina la importancia en la salud pública y local de la vigilancia y contención de la calidad de los productos dirigidos al consumo humano; plantea experiencias desarrolladas por la FAO para
--	-------------------	---

mejorar capacidades normativas frente a la problemática planteada, plantea la implementación de la Agencia Chilena para la Inocuidad de los Alimentos-HACIA y la experiencia argentina en el programa denominado SICOFHOR para el fomento de buenas prácticas en la cadena de producción de hortalizas y frutas a fin de asegurar la calidad del producto final.

(Autor, 2020)

7.2 Marco Teórico

7.2.1 Consecuencias en el medio ambiente

Vista como un fenómeno que afecta indiscriminadamente tanto áreas urbanas como rurales de todo el mundo, la contaminación ambiental se puede definir como la presencia de cualquier agente químico, físico, biológico, combinación de varios agentes o sustancias provenientes de distintos lugares y de cualquier forma y concentración que puedan llegar a ser nocivos para la salud, seguridad y/o bienestar de una población, vida animal o vegetal. Múltiples actividades antrópicas generan desechos en estado sólido, líquido o gaseoso y son vertidos al ambiente modificando los ecosistemas e interrelaciones llevadas a cabo en el mismo. (Apaza - Quispe, 2014) Se debe tener en cuenta, que la contaminación ambiental supone un riesgo directo para la calidad y seguridad de los alimentos, debido a que representa un factor determinante en el desarrollo de los mismos; el medio ambiente determina la disponibilidad de los mismos en cada región geográfica, condiciona los hábitos alimentarios y afecta la composición nutricional. (Gimferrer, 2012)

El aumento de la población mundial es una problemática constante debido a que significa que la tierra cultivable por habitante disminuye cada vez más, lo que permite llegar a la inevitable afirmación de que es necesario intensificar la producción de alimentos para poder suplir de la forma más eficiente posible las demandas de la sociedad. Debido a esto, la calidad de los suelos, el agua y el ambiente es una problemática que se debe tener en cuenta en la actualidad. (Apaza - Quispe, 2014)

La presencia de contaminantes en el suelo supone la existencia de posibles efectos nocivos para las personas, la fauna y flora. La magnitud de estos efectos depende de las características toxicológicas de cada contaminante y la concentración del mismo. Refleja de forma directa sobre la vegetación y alimentos, induciendo a su degradación, reducción del número de especies y muy frecuentemente, la acumulación de los mismos sin generar efectos notables en las plantas. (Apaza - Quispe, 2014) Entre las consecuencias más comunes están la pérdida de capacidades agrícolas o actividades productivas, la contaminación de aguas subterráneas, superficiales y el aire, por último, el envenenamiento por contacto directo o a través de las cadenas tróficas.

Entre los problemas más importantes y significativos que generan afectaciones a los cuerpos hídricos haciendo que su uso sea más limitado y su proceso de descontaminación más complejo son los vertidos industriales, urbanos, agrícolas y ganaderos, derivando principalmente de desechos sólidos, humos, transporte de materias primas, accidentes, fugas, uso indiscriminado de abonos químicos y pesticidas. El uso de aguas contaminadas en la agricultura genera un incremento en las ETA, desarrollando una problemática a nivel de salud pública. (Solano, 2011)

7.2.2 Implicaciones a la salud y medio ambiente debido a metales pesados

En un marco de contaminación ambiental y sus repercusiones en la salud y el medio ambiente, se debe tener en cuenta que algunos metales pesados que efectivamente contaminan algunos alimentos a través de diversas fuentes, forman parte de la corteza terrestre del planeta, por lo tanto, su presencia y continua dispersión es inevitable, mientras que sus efectos dependen directamente de la concentración y forma en que llegue a los ecosistemas o alimentos. Son contaminantes distribuidos por todo el planeta y debido a

sus características y propiedades son muy difíciles de tratar y erradicar. Elementos como el arsénico, mercurio, plomo, cadmio y aluminio son los principales causantes de la contaminación ambiental en los alimentos de forma natural. (Gimferrer, 2012)

Garantizar la inocuidad y la calidad de los alimentos se convierte en un problema a resolver a nivel de salud pública. El riesgo de contaminación en la cadena alimentaria agrícola puede provenir de diversas fuentes, desde el cultivo inicial, hasta el transporte, distribución y consumo. En cuanto a la presencia de sustancias químicas, se pueden destacar los metales pesados, los cuales cobran importancia debido a su toxicidad en dosis y concentraciones bajas, en la mayoría de los casos tienen su origen en la actividad industrial.

7.3.3 Contaminación por metales pesados en el embalse El Muña y cuerpos hídricos circundantes

Una de las fuentes de contaminación más importantes del embalse El Muña es su principal fuente de agua, el Río Bogotá, un cuerpo hídrico conocido internacionalmente gracias a sus niveles de contaminación por diferentes fuentes entre las que resaltan en primera instancia la concentración de metales pesados. Este problema de contaminación terminó por afectar la calidad del agua del embalse, en el cual los diferentes tipos de contaminantes captados por el río en su cuenca alta (metales pesados, solventes, grasas, aceites, residuos de todo tipo, entre otros) generan diferentes impactos, como la contaminación del suelo y aguas subterráneas por el uso de agua del embalse y riachuelos cercanos para riego de terrenos y cultivos circundantes. (Combariza, 2009)

Se han logrado establecer concentraciones de diversos contaminantes en el embalse y cuerpos hídricos aledaños, en 13 muestras analizadas, se encontraron rangos alarmantes de Arsénico (32-52 µg/L), Plomo (0,9-3,4 µg/L), Cromo (5,3-16,5 µg/L), Cadmio (0,16-1,3 µg/L) y Mercurio (0- 0,61 µg/L); así como pequeñas concentraciones en diversos vegetales. También se han analizado niveles de Cadmio, Plomo, Mercurio y Arsénico en sangre y cabello, encontrando que los niveles promedios de metales pesados estaban por debajo de los límites permisibles, aunque en algunos casos estos niveles fueron significativamente altos. (Sarmiento et al., 1999)

7.4 Marco conceptual

1. *Abono*

Es cualquier sustancia orgánica o inorgánica que logra mejorar los niveles y calidad del sustrato a nivel nutricional para las plantas presentes en el mismo. Se consideran vitales debido a que les aportan a las plantas alimentos esenciales para su crecimiento y desarrollo, como el nitrógeno, fósforo y potasio. (Guerrero, 2010)

2. *Absorción atómica*

Es una técnica analítica que permite evaluar la concentración de un analito mediante el análisis de la capacidad que poseen los átomos de los metales para emitir una luz a determinada longitud de onda. Cuando un átomo se encuentra en su estado fundamental se le suministra determinada energía, la cual es absorbida por los átomos, llevándolos a un estado de excitación, cuando el átomo vuelve a su estado fundamental cede una cantidad idéntica a la que absorbió para pasar a su estado de excitación, lo que produce emisiones de radiación a una determinada longitud de onda. En la espectrofotometría la muestra es vaporizada mediante procesos de elevación de temperatura, conocidos como atomización. (Pérez, 2017)

3. *Agua tipo T1*

Esta es un agua la cual por medio de diferentes tipos de filtros van eliminando impurezas, dejando así un producto limpio.

4. *Arsénico*

El arsénico es uno de los metales más tóxicos presentes en el ambiente y su distribución depende directamente de diversos factores químicos, físicos y biológicos. Su presencia, distribución y magnitud de contaminación depende directamente de procesos naturales y antropogénicos; es usado en procesamiento de vidrio, pigmentos, textiles, curtido de pieles, fabricación de plaguicidas y municiones, entre otros. Se debe tener en cuenta que representa una amenaza importante para la salud pública al encontrarse en aguas subterráneas contaminadas, siendo sus principales fuentes de exposición el agua destinada a consumo humano, cultivos regados con agua contaminada y los alimentos lavados y/o preparados con agua contaminada. Los síntomas inmediatos de intoxicación varían desde vómitos, dolor abdominal y diarrea hasta entumecimiento, calambres y en casos extremos la muerte; cuenta también con efectos a largo plazo, generando cambios en la pigmentación de la piel, lesiones cutáneas, cáncer de piel, vejiga o pulmón, entre otros. (WHO, 2018)

5. *Bioacumulación*

Es la acumulación total de un contaminante que es absorbida y retenida por un organismo, teniendo en cuenta todas las posibles fuentes de asimilación, incluyendo el agua, el aire y cada una de las fases sólidas del medio ambiente (alimentos, tierra, sedimentos, partículas suspendidas, entre otros). (Newman, 2015)

6. *Biomagnificación*

Se define como el incremento de la concentración de un contaminante específico en un organismo, teniendo en cuenta el aumento en el nivel trófico; se deben analizar las concentraciones de los depredadores y las presas, la concentración de los depredadores es cada vez mayor. (Newman, 2015)

7. Cadena trófica

Se refiere específicamente a la relación existente entre especies, dentro de una comunidad biológica, una especie sirve de alimento para otra y a su vez esta se convertirá en alimento para otra especie. Se debe tener en cuenta que cada uno de los eslabones de una cadena trófica tienen una función, si llega a desaparecer se genera un desorden implícito que afecta el equilibrio del ecosistema entero (PNUD, 2012)

8. Cadmio

Es un elemento metálico presente naturalmente en toda la corteza terrestre en diferentes ambientes; generalmente se encuentra combinado a otras sustancias como el oxígeno, cloro o azufre. Debido a que no se oxida fácilmente, tiene un periodo de vida considerablemente largo, facilitando procesos de bioacumulación y biomagnificación. Sus propiedades anticorrosivas lo hacen muy útil a nivel industrial para procesos de galvanizado, revestimiento metálico, pigmento para pinturas y plásticos, fabricación de baterías e incluso como estabilizante del PVC. Su comportamiento en matrices ambientales es, en su mayoría, proveniente de actividades como la minería en forma de partículas arrastradas por corrientes de aire para luego ser depositadas en el suelo y cuerpos hídricos. La principal fuente de exposición para las personas es el consumo de alimentos contaminados debido a que las plantas captan fácilmente el cadmio del suelo, proveniente de depósitos naturales, riego con agua contaminada y algunos casos por el uso de fertilizantes contaminados. (Combariza, 2009)

9. Cobalto

Es un metal encontrado naturalmente en el ambiente, puede entrar a la cadena trófica debido a la quema de carbón o petróleo, la minería y el uso de sustancias químicas que tienen alguna concentración del metal. Es usado para crear aleaciones con metales como el hierro o níquel, para emplearlas en motores de avión, resistencia a la corrosión, herramientas de alta velocidad o temperatura, entre otras aplicaciones. Las principales fuentes de exposición a humanos son por el consumo de agua potable con niveles altos de cobalto, alimentos contaminados o aire contaminado. La exposición a altas concentraciones de cadmio tiene serias consecuencias en la salud, como enfermedades respiratorias, dermatitis, dañar severamente el corazón e incluso la muerte. (TDSHS, 2012)

10. Contaminantes criterio

Son sustancias relativamente comunes que se liberan en grandes cantidades y concentraciones provenientes de fuentes muy variadas y que presentan un riesgo directo a la salud y bienestar de las personas en grandes extensiones; algunos de estos son el CO₂, Sox, Nox, O₃, MP y Pb. (García et al., 2007)

11. Cromo

Es un elemento encontrado naturalmente en rocas, animales, plantas y suelo en concentraciones mínimas y específicas, en su mayoría, combinado para formar varios compuestos. El cromo se puede encontrar en numerosos productos de consumo como la madera tratada con dicromato de cobre, cuero curtido con sulfato crómico, artículos de cocina de acero inoxidable, entre muchos otros. Las fuentes más comunes de este metal son industrias involucradas en galvanoplastia, curtido de cuero, producción de textiles y en la manufactura de productos en base al cromo. La ruta de exposición en humanos más común es el aire, el agua y los alimentos contaminados. Los problemas de salud varían

según el tiempo y concentración a la que se estuvo expuesto, desde irritaciones en la nariz hasta cáncer de pulmón. (ATSDR, 2015)

12. Fertilizantes

Se entiende como cualquier material ya sea orgánico o inorgánico, natural o sintético que esté en estado aprovechable para las plantas con uno o más de los elementos básicos nutricionales necesarios para su desarrollo normal. (Guerrero, 2010)

13. Fitoextracción

Se le conoce como una de las mejores técnicas para extraer un contaminante inorgánico del suelo y lograr su posterior aislación sin afectar la estructura o actividad para uso agrícola del mismo; por medio de la absorción del contaminante a través de las raíces y demás órganos de una especie vegetal donde son acumulados. Se han determinado resultados positivos en metales como plata, Cadmio, Cobalto, Cromo, Cobre, Mercurio, Manganeseo, entre otros. (Rosas, 2008)

14. Fuentes de emisión

En el decreto 1076 de 2015, en el artículo 2.2.5.1.1.2 se define una fuente de emisión como “toda actividad, proceso u operación, realizada por los seres humanos o con su intervención, susceptible de emitir contaminantes al aire”.

15. *Fragaria x ananassa* Duch. cv. Albión

Es una planta de buen tamaño, rústica, de hojas gruesas, fruto de color rojo fuerte, grande, cónico, resistente a la manipulación por transporte, susceptible al ataque de *Phytophthora*, *Verticillium* y *Colletotrichum* y a bacterias especialmente *Xanthomonas sp.*, es una variedad con buena capacidad hidropónica y muy susceptible al ataque de ácaros. Se debe sembrar a 40-45 cm entre plantas. Producción de 3 a 4 libras por planta en 18 meses. (Bayer CropScience S.A., 2009)

16. Inocuidad alimentaria

Se define como el conjunto de condiciones, protocolos y medidas necesarias durante la producción, almacenamiento, distribución y preparación de cualquier tipo de alimento a fin de asegurar que una vez ingeridos por el consumidor final no representen un riesgo significativo para su salud; por lo tanto, se considera un aspecto a tener en cuenta en materia de calidad alimentaria. (Ministerio de Salud y Protección Social, 2013)

17. Incidencias en la salud

Se define como el número de afectados nuevos referidos a una enfermedad o condición de salud dividido por la cantidad de población en riesgo para la enfermedad en un lugar y tiempo específicos. (OPS, 2015)

18. Metales pesados

Se refieren a cualquier elemento químico metálico que tenga una considerable densidad y sea tóxico en concentraciones que en ocasiones son muy bajas. Se encuentran generalmente como componentes naturales en la corteza terrestre, no pueden ser degradados o destruidos fácilmente de forma natural o biológica gracias a que no poseen funciones metabólicas específicas para los seres vivos, a

excepción de algunos elementos como el cobre (Cu), el selenio (Se) y zinc (Zn), los cuales juegan un papel fundamental en el correcto metabolismo de los seres vivos y el cuerpo humano. (Prieto et al., 2009)

19. Plomo

Es un metal pesado utilizado gracias a sus propiedades y características como su resistencia a la corrosión, ductilidad, maleabilidad y facilidad para formar aleaciones. Su comportamiento en matrices ambientales es bastante variado, cuando es liberado al aire puede ser transportado grandes distancias para luego ser depositado en el suelo y luego, de acuerdo a parámetros y condiciones como la lluvia, puede ser arrastrado hacia aguas superficiales, acumulándose en sedimentos o ser absorbido por plantas e introducirse a la cadena alimentaria, generando una problemática a nivel de salud pública. La principal vía de exposición de las personas al plomo es el consumo de alimentos contaminados y por fuentes ambientales como pinturas a base de plomo, agua potable contaminada, gases provenientes de emisiones industriales, entre otros. Su toxicidad deriva del tiempo de exposición y a la concentración a la que se estuvo, además de las características específicas de la persona, afecta varios órganos dentro de los que se incluye el sistema nervioso, hematopoyético, renal endocrino y musculo esquelético. (Combariza, 2009)

20. Ruta de exposición

Se refiere al camino o ruta que debe seguir un contaminante desde su fuente hasta la población; cada ruta se constituye de cinco componentes: Fuente de contaminación, medio ambiente, punto de exposición, vía de exposición y población receptora. (Fernández, 2004)

21. Salud pública

En cuanto al concepto actual de salud pública, Figueroa (2012) afirma:

La práctica social integrada que tiene como sujeto y objeto de estudio, la salud de las poblaciones humanas y se le considera como la ciencia encargada de prevenir la enfermedad, la discapacidad, prolongar la vida, fomentar la salud física y mental, mediante los esfuerzos organizados de la comunidad, para el saneamiento del ambiente y desarrollo de la maquinaria social, para afrontar los problemas de salud y mantener un nivel de vida adecuado.

22. Solventes

Hace referencia a cualquier material, normalmente líquido, que tiene la capacidad de disolver o reducir la concentración de otro material y formar una mezcla homogénea definida como solución. El solvente más común es el agua, muchos otros, usados en situaciones específicas son compuestos orgánicos, como alcoholes, cetonas, hidrocarburos, entre otros. (Castro, 2004)

23. Transferencia

Se define como el porcentaje de un elemento que pasa desde el suelo a cualquier órgano de la planta. Está determinada por la forma, el número de cargas y la energía de retención de los metales pesados. (Pérez - Alvarado, 2018)

7.5 Marco legal

7.5.1 Normatividad Nacional

Tabla 3 Normatividad Nacional

Normatividad Nacional

<u>Norma</u>	<u>Descripción</u>
Decreto 2811 de 1974 Expedido por: Presidencia de la república de Colombia.	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Parte VII. De la tierra y los suelos. Artículo 178. Los suelos del territorio Nacional deberán usarse de acuerdo con sus condiciones y factores constitutivos. Se determinará el uso potencial de los suelos según los factores físicos, ecológicos y socioeconómicos de la región. Artículo 179. El aprovechamiento de los suelos deberá efectuarse en forma de mantener su integridad física y su capacidad productora. En la utilización de los suelos se aplicarán normas técnicas de manejo para evitar su pérdida o degradación, lograr su recuperación y asegurar su conservación.
Resolución 4506 de 2013. Expedido por: Ministerio de salud y protección social.	Por la cual se establecen los niveles máximos de contaminantes en los alimentos destinados al consumo humano y se dictan otras disposiciones. Artículo 3. Definiciones para efectos de la aplicación de la resolución. Artículo 4. Niveles máximos de contaminantes en los alimentos (NM). Numeral 9 – Arsénico Numeral 11 - Plomo Numeral 12 – Cadmio

Política Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional (PSAN) de 2008.	Presenta el programa que tiene como objetivo principal garantizar que toda la población colombiana disponga, acceda y consuma alimentos de manera permanente oportuna, en suficiente cantidad, variedad, calidad e inocuidad. Plantea estrategias encaminadas a su intervención desde la producción hasta el aprovechamiento biológico de los alimentos. Estructura acciones a través de 9 líneas de política, que se interrelacionan y complementan entre sí.
---	---

Ley 9 de 1979 Expedido por: Congreso de la república de Colombia.	Artículo 1. Para la protección del Medio Ambiente, se establecen normas generales y procedimientos establecidos. Artículo 410. Las frutas y hortalizas deberán cumplir con todos los requisitos establecidos. Artículo 411. Durante la manipulación o almacenamiento de frutas y hortalizas se deberán tomar las precauciones necesarias para evitar su contaminación. Artículo 412. Se prohíbe el uso de aguas contaminadas para el riego de hortalizas y frutas cuando el consumo pueda causar efectos nocivos para la salud.
---	---

Resolución 14712 de 1984 Expedida por: Código de saneamiento sanitario	Artículo 1. El control sanitario de los vegetales, como frutas y hortalizas elaboradas, destinadas al consumo humano, deberá efectuarse por el Ministerio de Salud y los Servicios Seccionales de salud, de acuerdo con las normas vigentes y con el objeto de evitar enfermedades vehiculizadas por estas. Artículo 3. Numeral 13. FRUTA FRESCA. Es aquella que en el momento de utilización conserva su estado natural, pudiendo haber sido sometida a preservación por métodos o químicos aprobados. Artículo 8. Para el riego de los cultivos de los productos naturales se que trata la presente resolución no deberán utilizarse aguas contaminadas.
--	---

Resolución 3929 de 2013	Por la cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir las frutas y bebidas con adición de jugo (zumo) o pulpa de fruta o concentrados de fruta, clarificados o no, o la
--------------------------------	---

Expedido por: mezcla de éstos que se procesen, empaquen, transporten, importen y
Ministerio de Salud y comercialicen en el territorio nacional.
Protección Social

Ley 99 de 1993 Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el
Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio
Expedido por: ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema
Congreso de la república Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.
de Colombia

Resolución 0170 de Corresponde al Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente,
2009. conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la
educación para el logro de esos fines, Igualmente, tiene a su cargo
Expedido por: planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para
Ministerio de Ambiente, garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o
vivienda y Desarrollo sustitución
Territorial.
Artículo 2. Medidas de Conservación
Artículo 3. Medidas complementarias

Decreto 1729 de 2002 Artículo 5. Medidas de protección. Adopción de medidas de
conservación y protección de los recursos naturales renovables, previstas
Expedido por: en el plan de ordenación, en desarrollo de lo cual podrá restringir o
Ministerio de Ambiente, modificar las prácticas de su aprovechamiento y establecer controles o
Vivienda y Desarrollo límites a las actividades que se realicen en la cuenca.
Territorial.

Ley 1122 de 2007 Por la cual se hacen algunas modificaciones en el Sistema General de
Seguridad Social en Salud y se dictan otras disposiciones.
Expedido por:
Congreso de la república
de Colombia

(Autor, 2020)

A su vez, en la Tabla número 4 se recopilan los niveles permisibles para las concentraciones de metales pesados.

Tabla 4 Límites Establecidos en la Resolución 4506 de 2013

<i>Normatividad Colombiana (mg metal/Kg órgano - peso fresco)</i>					
Metales	Arsénico	Cadmio	Cobalto	Cromo	Plomo
Resolución 4506 de 2013	NA	0,050	NA	NA	0,20
<i>Nota. Límites Establecidos en la Resolución 4506 de 2013</i>					
(Autor, 2020)					

7.5.2 Normatividad Internacional

Tabla 5 Límites Establecidos en la Normatividad Internacional

<i>Normatividad Internacional (mg metal/Kg órgano - peso fresco)</i>					
Metales Reglamentos	Cadmio	Cobalto	Cromo	Arsénico	Plomo
Colombia	0,050	NA	NA	NA	0,20
UE	0,050	NA	NA	NA	0,1
Australia	NA	NA	NA	NA	0,1
Nueva Zelanda	NA	NA	NA	NA	0,50
Brasil	1	NA	0,10	NA	0,2
EEUU	0,10	NA	0,05	0,05	0,5
Rusia	0,3	NA	NA	NA	0,2
Sudáfrica	0,5	NA	NA	NA	0,2
Suiza	0,5	NA	NA	NA	0,1
CA	0,5	NA	NA	NA	0,10
<i>Nota. UE (Unión Europea), EEUU (Estados Unidos de América), CA (Codex Alimentarius)</i>					
(Autor, 2020)					

7.6 Marco geográfico

Sibaté es un municipio ubicado en el departamento de Cundinamarca, a 27 kilómetros al Sur de la ciudad de Bogotá D.C, hace parte de la Sabana Sur Occidental y cabe resaltar que las vías de acceso al municipio se encuentran en perfectas condiciones. Tiene un área total de 125.6 km², la cual se divide en extensión de área urbana (16.9 km²) y extensión de área rural (108.7 km²). (Alcaldía de Sibaté, 2016)

Tabla 6 Características Geográficas del Municipio de Sibaté

Características Geográficas del Municipio de Sibaté (Alcaldía de Sibaté, 2016)

<u>Localización geográfica</u>		<u>Demografía</u>	<u>Límites</u>	
Latitud	4° 29'27'	38.000 hab	Norte	Soacha
Longitud	74° 15'34'		Sur	Pasca y Fusagasugá
Altitud	2700 msnm		Oriente	Soacha
Temperatura	14 °C		Occidente	Silvana y Granada

(Autor, 2020)

Su economía se basa principalmente en dos actividades: la agricultura y la ganadería. Con una extensión equivalente a 12.560 ha, 10.870 son de área rural y 1.100 dedicadas a la producción agrícola; los principales productos son la fresa, papa, arveja y uchuva. Adicionalmente se encuentran cultivos de flores para exportación y presencia de hatos ganaderos dedicados a la producción de carne y leche. El municipio cuenta con alrededor de 6.550 ha dedicadas a producción de pastos, 4.050 a producción de ganado de leche, 3.180 a la producción de ganado para carne y 120 a otras especies pecuarias. (Alcaldía de Sibaté, 2016)

En cuanto a la topografía del municipio, se puede clasificar como un terreno plano (26%) y ondulado (74%), en donde se logra resaltar que al Oriente se encuentran las cuchillas de San Luis, las lomas de Gramilla y Curubital, los altos de los Armadillos y del Zarzo; al Occidente se encuentran las cuchillas de las vueltas del Cerro y del Tequendama, las Lomas de los Alpes y de las Flores; al Sur se encuentran la cuchilla de Peña Blanca y el Chuscal, que llegan a una altura aproximada de 3000 msnm; por último, en el centro del municipio se presenta una superficie plana. (Alcaldía de Sibaté, 2016)

7.6.1 Zona de estudio

ZONA DE MUESTREO EN EL MUNICIPIO DE SIBATÉ, CUNDINAMARCA.

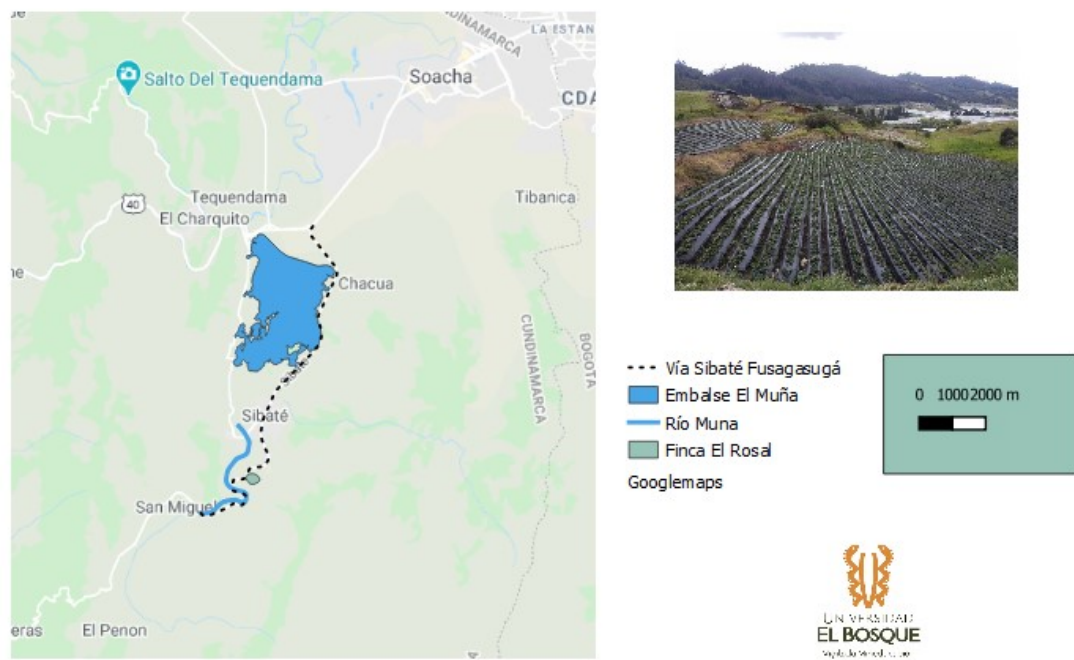


Figura 1 Zona de Muestreo en el Municipio de Sibaté

(Autor, 2020)

7.7 Marco Institucional

7.7.1 Organigrama Marco Institucional



Figura 2 Organigrama Marco Institucional

(Autor, 2020)

8. Marco Metodológico

8.1 Diseño

El diseño implementado para la presente investigación es de tipo secuencial, debido a que después de llevar a cabo el enfoque cuantitativo, se realiza una triangulación de datos obtenidos mediante tablas comparativas y los análisis de resultados.

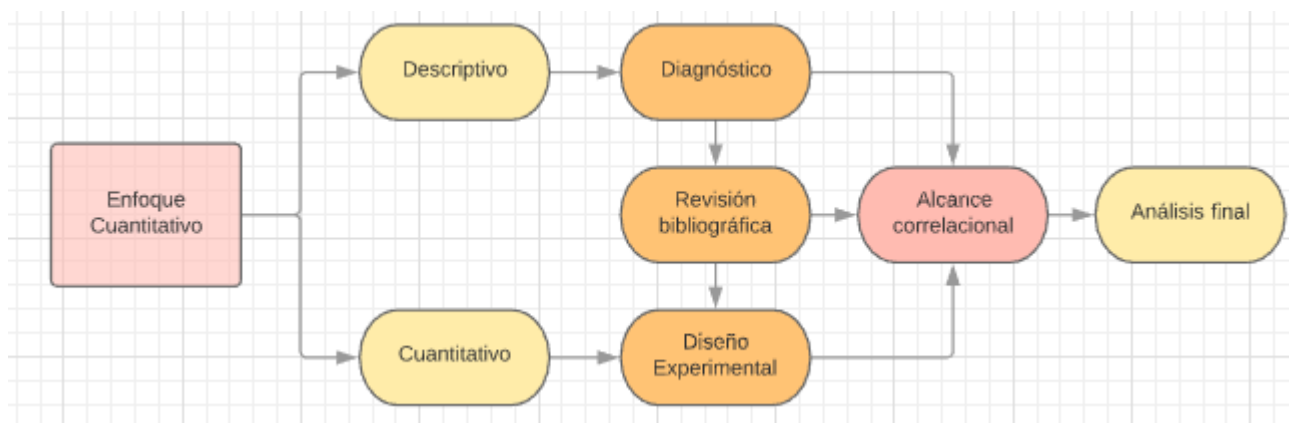


Figura 3 Organigrama Diseño Secuencial

(Autor, 2020)

8.2 Enfoque

Este proyecto cuenta con un enfoque cuantitativo, al realizar un análisis de resultados obtenidos experimentalmente a partir de la cuantificación de la concentración de estos metales en el suelo y fruto de *Fragaria x ananassa* Duch. cv. Albión. Cabe resaltar que no se realizará ninguna propuesta de alternativa en cuanto a las formas de riego o de cultivo que se tengan implementados en El Rosal o el municipio de Sibaté-Cundinamarca; el enfoque se limitará a la cuantificación de metales, porcentaje de transferencia de los mismos en la planta y la forma en que puede llegar a afectar la salud pública.

8.3 Alcance

El presente trabajo de investigación se dividió en dos etapas; la primera, con un enfoque descriptivo, debido a que se busca caracterizar metales pesados como el Arsénico, Cobalto, Cadmio, Plomo y Cromo en la especie estudiada. La segunda, definida como correlacional, debido a que se realiza un análisis integrado de los resultados obtenidos mediante la fase experimental a fin de realizar la comparación respectiva teniendo en cuenta la normatividad nacional e internacional vigente, teniendo en cuenta el porcentaje de transferencia de estos metales del suelo al fruto de *Fragaria x ananassa* Duch. cv. Albión, así como la afectación existente a la salud pública.

8.4 Unidad de análisis

La unidad de análisis definida para la presente investigación fue la concentración de metales pesados como el Arsénico, Cobalto, Cadmio, Plomo y Cromo en las muestras recolectadas en el municipio de Sibaté-Cundinamarca.

8.5 Informantes

Debido al enfoque mixto que se tuvo en cuenta para la realización de este proyecto, es necesario tener en cuenta la información planteada por los investigadores teniendo como base las observaciones realizadas en campo, además de los datos obtenidos en las prácticas de laboratorio empleando la técnica de absorción atómica, y por último, la normativa establecida a nivel nacional e internacional con relación a los niveles de concentración de metales pesados como el Arsénico, Cobalto, Cadmio, Plomo y Cromo en alimentos y su relación con alteraciones a la salud de los consumidores.

8.6 Dimensiones, variables, técnicas e instrumentos

1. Dimensiones, variables, técnicas e instrumentos para objetivos específicos 1 y 2.

Tabla 7 Dimensiones, Variables, Técnicas e Instrumentos para Objetivos Específicos 1 y 2

<i>Dimensiones, Variables, Técnicas e Instrumentos para Objetivos Específicos 1 y 2</i>					
Dimensiones	Variables	Aspecto	Indicadores	Técnica	Instrumento
Ecológica	Agua	Afectación en la salud humana	Metales pesados (ppm)	Análisis bibliográfico	Artículos científicos
	Suelo			Análisis de laboratorio Observación directa	VARIAN AA-140
	Fruta				Libreta de campo
	Planta				

(Autor, 2020)

2. Dimensiones, variables, técnicas e instrumentos para objetivo específico 3.

Tabla 8 Dimensiones, Variables, Técnicas e Instrumentos para el Objetivo Específico 3

<i>Dimensiones, Variables, Técnicas e Instrumentos para el Objetivo Específico 3</i>					
Dimensiones	Variables	Aspecto	Indicadores	Técnica	Instrumento
Social	Salud	Enfermedades	Número de caso Tipo de enfermedad	Análisis bibliográfico	Reportes de salud
Legislativo	Normatividad	Cumplimiento	Concentración (ppm)	Análisis documental Análisis comparativo Análisis de laboratorio	Normatividad nacional e internacional

(Autor, 2020)

8.7 Objetivo Específico I

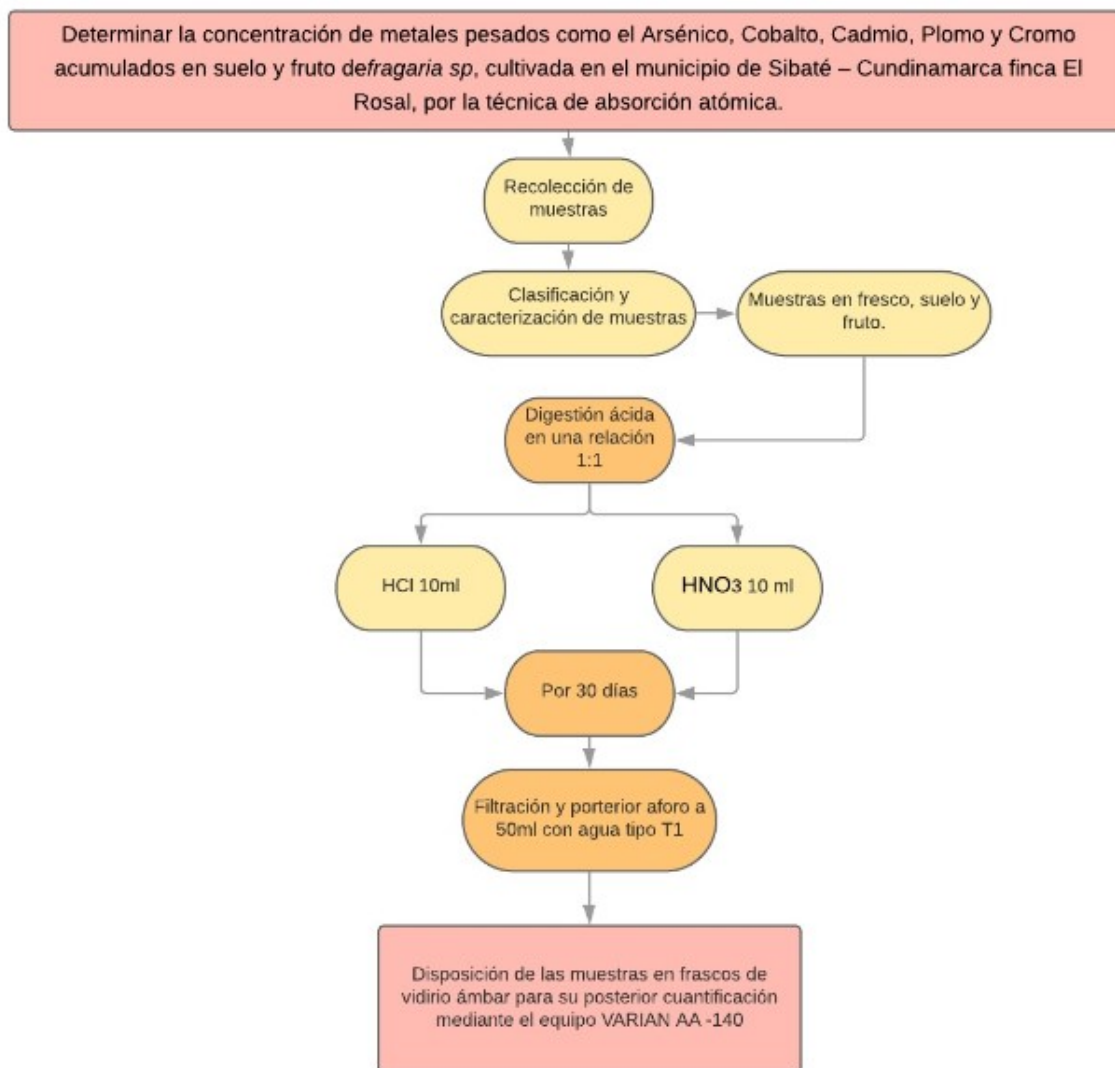


Figura 4 Flujograma Metodología Objetivo Específico I

(Autor, 2020)

Determinar la concentración de metales pesados como el Arsénico, Cobalto, Cadmio, Plomo y Cromo acumulados en suelo y fruto de *Fragaria x ananassa* Duch. cv. Albión, cultivada en el municipio de Sibaté – Cundinamarca finca El Rosal, por la técnica de absorción atómica.

Para la recolección de muestras, se realizó una visita de campo del día 26 de junio de 2020, a la finca El Rosal en el municipio de Sibaté, donde se muestrearon aleatoriamente 9 puntos, se tomaron aproximadamente 30 gramos de muestra de suelo y 40 gramos de muestra de frutos de *Fragaria x ananassa* Duch. cv. Albión (fresa). Siguiendo la metodología de extracción, se removieron 5cm de porción de suelo y se descartó, después, se excavó a una profundidad de 15cm y se tomó la muestra en una bolsa tipo ziploc y fueron llevadas a la fundación Universitaria Juan N. Corpas para llevarlas a una digestión ácida en frío con el objetivo de obtener cloruros y nitratos de cada metal analizado (Ver anexo

1), la cual se realizó tomando 10g de muestra del suelo y 20 gramos de muestra del fruto, como se evidencia en la tabla número 9 y después, adicionándole 10ml de HCl y 10ml de HNO₃ en una relación 1:1.

Tabla 9 Muestreo y Pesaje de Suelo y Fresa de la Finca El Rosal en el Municipio de Sibaté

Muestreo y Pesaje de Suelo y Fresa de la Finca El Rosal en el Municipio de Sibaté

Órgano	Número de muestra	Peso (g)
Suelo	1	10,0896
	2	10,0934
	3	10,0057
	4	10,0965
	5	10,0456
	6	10,0043
	7	10,0435
	8	10,0102
	9	10,0345
Fruto	1	20,0456
	2	20,0067
	3	20,0454
	4	20,0230
	5	20,0053
	6	20,0863
	7	20,0345
	8	20,0345
	9	20,0045

Nota. Se tomaron diferentes pesajes debido a la humedad contenida en el fruto.

(Autor, 2020)

Cuando se cumplió el tiempo de digestión ácida en frío, se realizó filtración de cada una de las muestras y se llevaron a un aforo de 50ml con agua T1, finalmente, se dispusieron las muestras en frascos de vidrio ámbar para ser llevadas a la lectura de metales pesados en el equipo VARIAN AA 140 de la Pontificia Universidad Javeriana. (Ver anexo 2)

8.8 Objetivo específico II

Analizar el porcentaje de transferencia de metales pesados como el Arsénico, Cobalto, Cadmio, Plomo y Cromo entre el suelo y el fruto de *Fragaria x ananassa* Duch. cv. Albión.

Para estimar y analizar el porcentaje de transferencia de los metales pesados del suelo a un órgano de la planta, es necesario tomar los resultados obtenidos gracias al objetivo específico número 1 y se plantea una relación 1:1 entre el suelo y el órgano que se está analizando, empleado la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de Transferencia} = \frac{\text{órgano de la planta (ppm)}}{\text{suelo (ppm)}} \times 100$$

Ecuación 1 % de Transferencia

A partir de los porcentajes de transferencia encontrados, se realiza un análisis de varianza (ANOVA), que es una herramienta estadística de gran utilidad para el estudio del efecto de uno o más factores sobre la media de una variable y en el control de métodos analíticos a nivel de laboratorios.

8.9 Objetivo específico III

Comparar las concentraciones determinadas en el fruto de *Fragaria x ananassa* Duch. cv. Albión con normativas establecidas nacional e internacionalmente.

Se realizó una revisión bibliográfica acerca de estudios similares realizados previamente en cultivos del país y el mundo a través del tiempo; adicionalmente, se realizó una revisión bibliográfica de normativa establecida nacional e internacionalmente aplicable al estudio realizado. Por último, se correlacionaron los resultados obtenidos mediante las prácticas de laboratorio con el análisis documental.

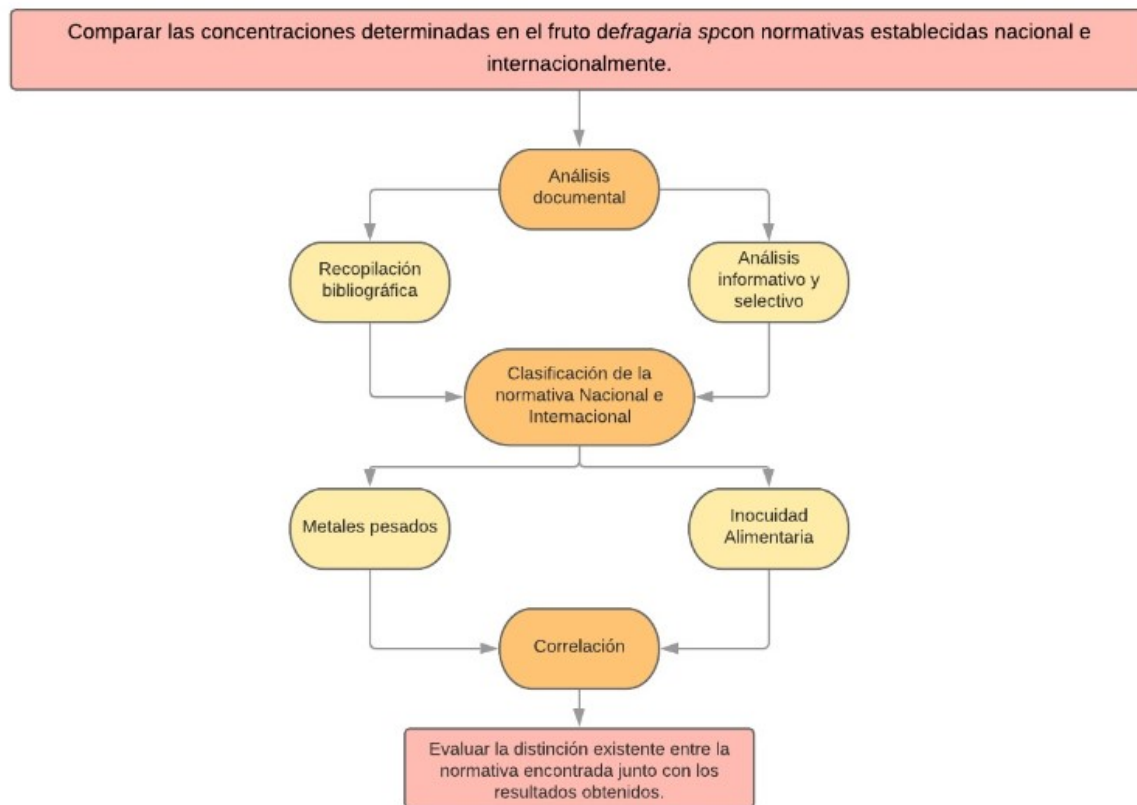


Figura 5 Flujograma Metodología Objetivo Específico III

(Autor, 2020)

8.10 Técnicas e instrumentos

1. Digestión ácida en frío

Es un método de digestión empleado para reducir al mínimo interferencias causadas por la presencia de materia orgánica y convertir a los metales contenidos a una forma en que se puedan analizar de forma eficiente. La digestión con ácido clorhídrico y ácido nítrico es adecuada para la extracción de diversos metales, además de que los nitratos proporcionan una buena base para las respectivas determinaciones para la técnica de absorción atómica. (Pérez - Alvarado, 2018)

2. Espectroscopia de absorción atómica en flama

Es una técnica caracterizada por la disociación de las moléculas en sus átomos, lo que permite observar el espectro atómico generado, la fuente de radiación es específica para cada elemento que se quiera analizar, esta es generada por la lámpara de cátodo hueco, pasando por la flama y por último por un sistema de lectura donde los átomos absorben radiación, tomando como principio la ley de Beer. (Pérez - Alvarado, 2018)

3. Espectrofotómetro VARIAN AA – 140

Es una herramienta de rango medio, que ofrece un nivel óptimo de automatización y un software fácil de emplear. Cuenta con una selección de longitud de onda y rendija específica para las necesidades del usuario. Está equipado con lámparas de cátodo hueco para cada metal y espejos recubiertos de cuarzo junto con un sistema de purga de aire instalado en el interior a fin de evitar la corrosión. (EVISA, 2010)

4. Lámpara de cátodo hueco

Es una lámpara de descarga diseñada con el objeto de fuente de línea espectral con espectrómetros de absorción atómica. La condición más importante para un uso eficiente de la lámpara de cátodo hueco es que se debe generar una línea de emisión estrecha para el metal que se esté analizando, debe tener una pureza espectral y una intensidad suficientes para lograr una buena calibración. Consiste en un ánodo de wolframio y un cátodo cilíndrico sellados herméticamente en un tubo generalmente de vidrio lleno de neón o argón a una presión de 5 Torr. (Skoog et al., 2001)

En la tabla número 10, se describen las longitudes de onda y las corrientes de las lámparas empleadas para cada uno de los metales analizados en el presente estudio, de acuerdo a las fichas técnicas (Anexo 3) empleados en el laboratorio.

Tabla 10 Longitudes de Onda y Corrientes de la Lámpara Respectivas Para Cada Metal Analizado

<i>Longitudes de Onda y Corrientes de la Lámpara Respectivas Para Cada Metal Analizado</i>		
Metal	Longitud de onda (nm)	Corriente de la lámpara (mA)
Arsénico	193.7	10
Cadmio	228.8	4
Cobalto	240.7	7
Cromo	357.9	7
Plomo	217.0	5

Nota. Ver anexo 3

(Autor, 2020)

5. Uso y calibración del equipo

Para la cuantificación de los metales pesados se empleó el equipo VARIAN AA-140 de la Pontificia Universidad Javeriana, el cual debe ser previamente calibrado dependiendo del metal que se plantea analizar. Para esta calibración, se tuvo en cuenta la ficha de seguridad de cada uno de los metales analizados (Ver anexo 3), en las cuales se encuentra como debe ser la dilución específica para cada uno de ellos.

5.1 Ejemplo de calibración con el Arsénico

Como se mencionó anteriormente, el equipo debe tener en cuenta los factores de la ficha de seguridad, para lo cual se cuenta con la información y resultados consignados en la tabla número 11. La concentración, expresada en ppm y la absorbancia como (2-log (%de transmitancia)), la transmitancia, que es la diferencia de potencias entre la inicial y la final y la W es igual al valor de la dependiente.

Tabla 11 Ejemplo de Calibración: Arsénico

<i>Calibración del Equipo Para el Arsénico</i>				
C (ppm)	A	C ²	A * C	A Corregida
5	0,01440	25	0,072	0,0124
10	0,02670	100	0,267	0,0247
20	0,04980	400	0,996	0,0495
30	0,07300	900	2,190	0,0742
		1425	3,525	0,0025
			<u>Factor</u>	404, 2553

Nota. C (Concentración) = A Corregida x F (Factor).

(Autor, 2020)

Por lo tanto, la concentración medida en ppm, mencionado por la hoja de seguridad de cada elemento; también se hace referencia a la cantidad de diluciones que se deben tener en cuenta para la concentración final y la posterior medición de la curva. La absorbancia es una medida otorgada por el equipo VARIAN AA-140. Esta calibración manual se hace con las diluciones planteadas, buscando una pendiente $R^2 = 1$.

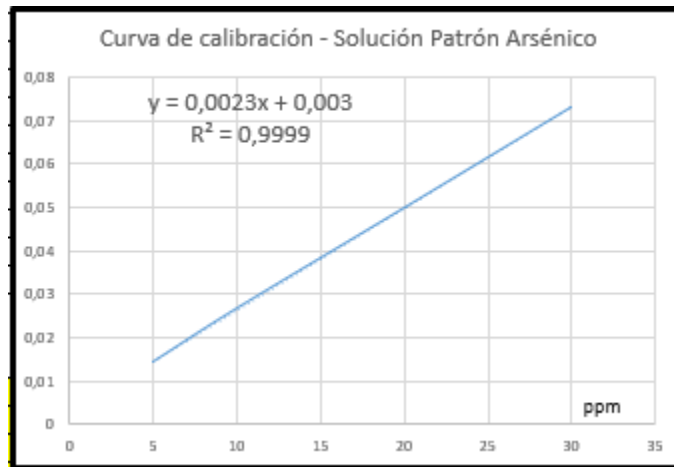


Figura 6 Curva de Calibración - Solución Patrón Arsénico

(Autor, 2020)

Debido a que no se obtiene un $R^2 = 1$ exacto, sino un $R^2 = 0,9999$ se debe realizar un ajuste manual, el cual se basa principalmente en multiplicar $A \cdot C$, y su sumatoria multiplicarla por la C inicial, con el objeto de que la pendiente dé sobre el rango establecido.

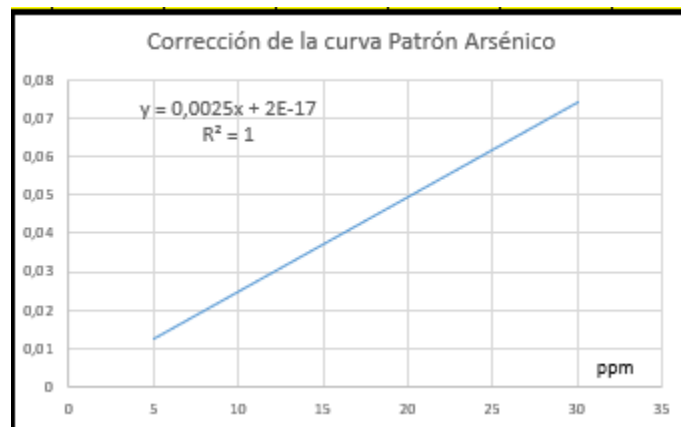


Figura 7 Corrección de la Curva Patrón Arsénico

(Autor, 2020)

9 Resultados

9.1 Arsénico

Una vez calibrado el equipo VARIAN AA-140 de la Universidad Pontificia Javeriana, se procede a medir la absorbancia del Arsénico (As), luego de esto se multiplica por el factor que se obtuvo en la dilución inicial; con el resultado anterior se procede a hacer el factor de conversión, como se habló anteriormente en la metodología se hicieron unas digestiones, esto se hace para obtener todo en las unidades mg As/kg órgano, las cuales son las utilizadas en la comparación final con la normativa consultada a nivel nacional e internacional.

Datos Calibración Arsénico

C (ppm)	A	C ²	A * C	Ac	
5	0,0144	25	0,0720	0,0123	
10	0,0267	100	0,2670	0,0247	
20	0,0498	400	0,9960	0,0494	
30	0,0730	900	2,1900	0,0742	
		1425	3,5250	0,0024	404,2553
				w	1/w

Nota. C (Concentración), A (Absorbancia), Ac (Absorbancia Corregida)

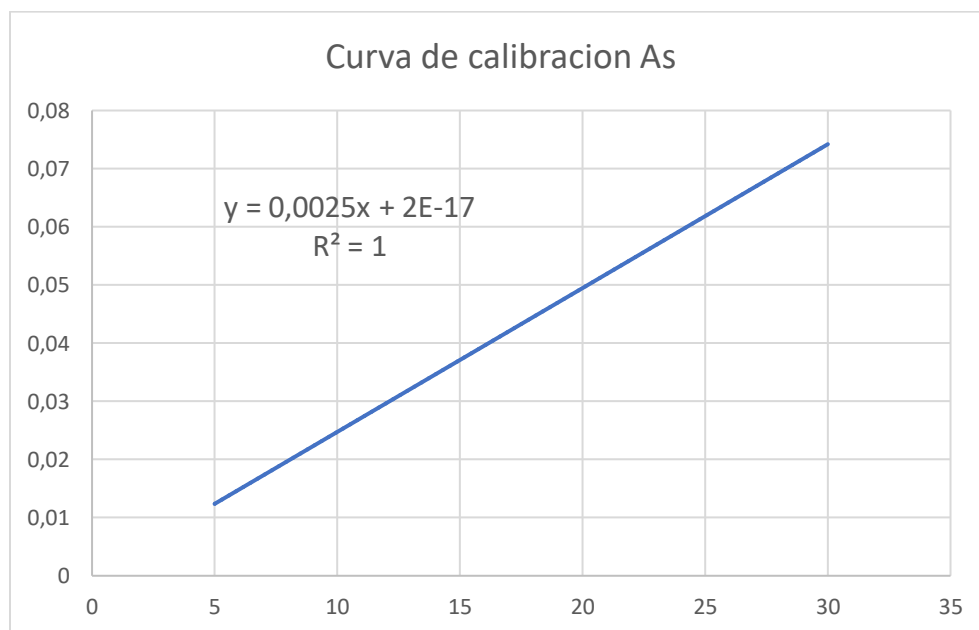


Figura 8 Curva de Calibración As

(Autor, 2020)

Tabla 12 Resultados Arsénico Suelo

Resultados Arsénico Suelo						
	A	A * F	C	D	$\bar{x}$	σ
Suelo	1	0,0208	8,4085	42,0425	0,4204	
	2	0,0214	8,6510	43,2553	0,4325	
	3	0,0214	8,6510	43,2553	0,4325	
	4	0,0208	8,4085	42,0425	0,4204	
	5	0,0270	10,9148	54,5744	0,5457	
	6	0,0271	10,9553	54,7765	0,5477	
	7	0,0262	10,5914	52,9574	0,5295	
	8	0,0253	10,2276	51,1382	0,5113	
	9	0,0109	4,4063	22,0319	0,2203	0,4512 0,1024
Nota. A (Absorbancia), D (Dilución), C (mg As / kg de suelo), $\bar{x}$ (Promedio), σ (Desviación estándar)						
(Autor, 2020)						

Tabla 13 Resultados Arsénico Fresa

Resultados Arsénico Fresa						
	A	A * F	C	D	$\bar{x}$	σ
Fresa	1	0,0192	7,7617	19,4043	0,1940	
	2	0,0179	7,2361	18,0904	0,1809	
	3	0,0182	7,3574	18,3936	0,1839	
	4	0,0193	7,8021	19,5053	0,1951	
	5	0,0098	3,9617	9,9043	0,0990	
	6	0,0195	7,8829	19,7074	0,1971	
	7	0,0207	8,3680	20,9202	0,2092	
	8	0,0216	8,7319	21,8298	0,2183	
	9	0,0224	9,0553	22,6383	0,2264	0,1893 0,0370
Nota. A (Absorbancia), D (Dilución), C (mg As / kg de suelo), $\bar{x}$ (Promedio), σ (Desviación estándar)						
(Autor, 2020)						

9.2 Cobalto

Una vez calibrado el equipo VARIAN AA-140 de la Universidad Pontificia Javeriana, se procede a medir la absorbancia del Cobalto (Co), luego de esto se multiplica por el factor que se obtuvo en la dilución inicial; con el resultado anterior se procede a hacer el factor de conversión, como se habló anteriormente en la metodología se hicieron unas digestiones, esto se hace para obtener todo en las unidades mg Co/kg órgano, las cuales son las utilizadas en la comparación final con la normativa consultada a nivel nacional e internacional.

Datos Calibración Cobalto

C (ppm)	A	C ²	A * C	Ac	
1	0,0325	1	0,0325	0,0280	
2	0,0611	4	0,1222	0,0560	
3	0,0859	9	0,2577	0,0841	
5	0,1361	25	0,6805	0,1401	
		39	1,0929	0,0280	35,6849
				w	1/w

Nota. C (Concentración), A (Absorbancia), Ac (Absorbancia Corregida)

(Autor, 2020)

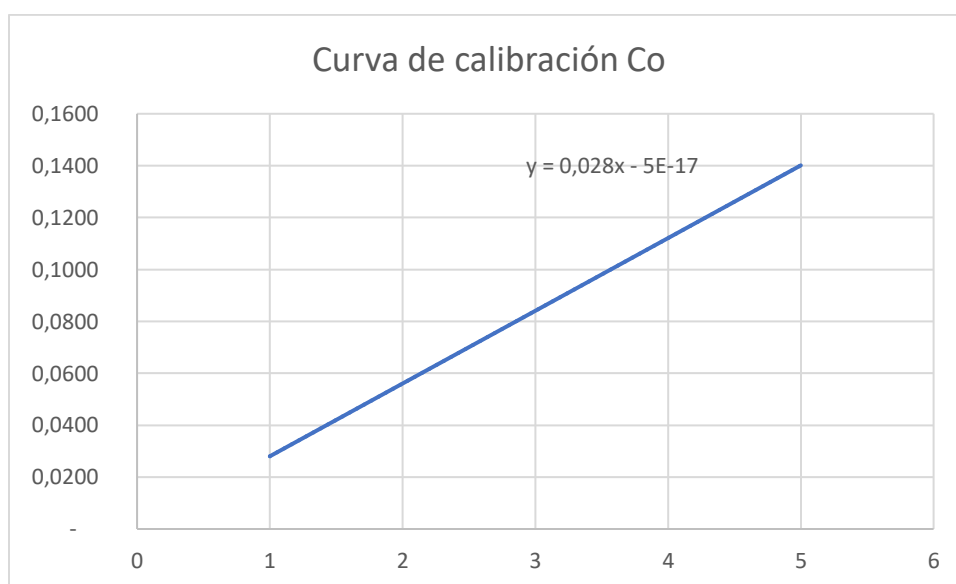


Figura 9 Curva de Calibración Co

(Autor, 2020)

Tabla 14 Resultados Cobalto Suelo

<i>Resultados Cobalto Suelo</i>					
	A	A * F	C	D	$\bar{x}$
Suelo	1	0,0070	0,2498	1,2490	0,0624
	2	0,0088	0,3140	1,5701	0,0785
	3	0,0078	0,2783	1,3917	0,0696
	4	0,0062	0,2212	1,1062	0,0553
	5	0,0056	0,1998	0,9992	0,0500
	6	0,0057	0,2034	1,0170	0,0509
	7	0,0068	0,2427	1,2133	0,0607
	8	0,0066	0,2355	1,1776	0,0589

9 0,0059 0,2105 1,0527 0,0526 0,0599 0,0094

Nota. A (Absorbancia), D (Dilución), C (mg As / kg de suelo), $\bar{x}$ (Promedio), σ (Desviación estándar)

(Autor, 2020)

Tabla 15 Resultados Cobalto Fresa

<i>Resultados Cobalto Fresa</i>						
	A	A * F	C	D	$\bar{x}$	σ
Fresa	1	0,0070	0,2498	0,6245	0,0312	
	2	0,0076	0,2712	0,6780	0,0339	
	3	0,0067	0,2391	0,5977	0,0299	
	4	0,0062	0,2212	0,5531	0,0277	
	5	0,0059	0,2105	0,5264	0,0263	
	6	0,0059	0,2105	0,5264	0,0263	
	7	0,0059	0,2105	0,5264	0,0263	
	8	0,0060	0,2141	0,5353	0,0268	
	9	0,0059	0,2105	0,5264	0,0263	0,0283 0,0028

Nota. A (Absorbancia), D (Dilución), C (mg As / kg de suelo), $\bar{x}$ (Promedio), σ (Desviación estándar)

(Autor, 2020)

9.3 Cadmio

Una vez calibrado el equipo VARIAN AA-140 de la Universidad Pontificia Javeriana, se procede a medir la absorbancia del Cadmio (Cd), luego de esto se multiplica por el factor que se obtuvo en la dilución inicial; con el resultado anterior se procede a hacer el factor de conversión, como se habló anteriormente en la metodología se hicieron unas digestiones, esto se hace para obtener todo en las unidades mg Cd/kg órgano, las cuales son las utilizadas en la comparación final con la normativa consultada a nivel nacional e internacional.

Datos Calibración Cadmio

C (ppm)	A	C ²	A * C	Ac	
0,5	0,10450	0,25	0,05225	0,0838	
1	0,19270	1	0,1927	0,1676	
2	0,34170	4	0,6834	0,3352	
3	0,48670	9	1,4601	0,5028	
		14,25	2,38845	0,1676	5,9662
				w	1/w

Nota. C (Concentración), A (Absorbancia), Ac (Absorbancia Corregida)

(Autor, 2020)

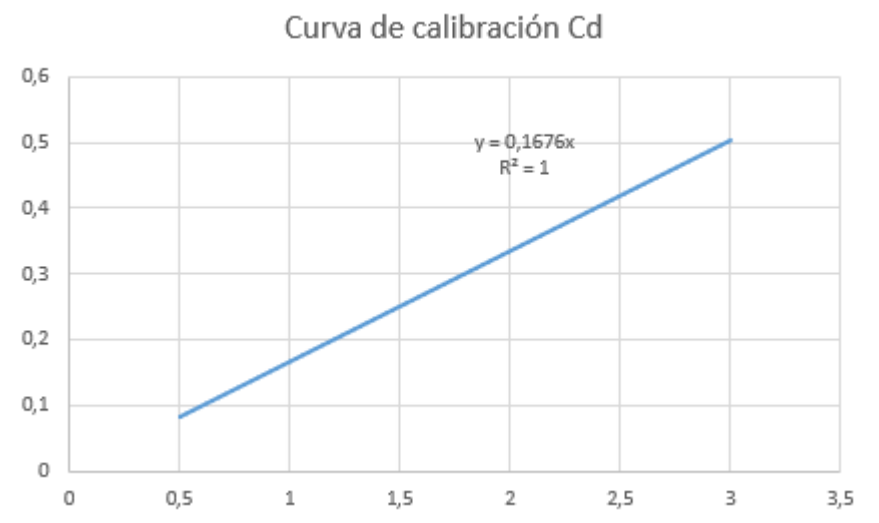


Figura 10 Curva de Calibración Cd

(Autor, 2020)

Tabla 16 Resultados Cadmio Suelo

<i>Resultados Cadmio Suelo</i>						
	A	A * F	C	D	$\bar{x}$	σ
Suelo	1	0,0220	0,1313	0,6563	0,0328	
	2	0,0228	0,1360	0,6801	0,0340	
	3	0,0215	0,1283	0,6414	0,0321	
	4	0,0190	0,1134	0,5668	0,0283	
	5	0,0189	0,1128	0,5638	0,0282	
	6	0,0181	0,1080	0,5399	0,0270	
	7	0,0173	0,1032	0,5161	0,0258	
	8	0,0182	0,1086	0,5429	0,0271	
	9	0,0168	0,1002	0,5012	0,0251	
<i>Nota.</i> A (Absorbancia), D (Dilución), C (mg As / kg de suelo), $\bar{x}$ (Promedio), σ (Desviación estándar)					0,0289	0,0032

(Autor, 2020)

Tabla 17 Resultados Cadmio Fresa

Resultados Cadmio Fresa						
	A	A * F	C	D	$\bar{x}$	σ
Fresa	1	0,0188	0,1122	0,2804	0,0140	
	2	0,0185	0,1104	0,2759	0,0138	
	3	0,0173	0,1032	0,2580	0,0129	
	4	0,0153	0,0913	0,2282	0,0114	
	5	0,0147	0,0877	0,2193	0,0110	
	6	0,0147	0,0877	0,2193	0,0110	
	7	0,0134	0,0799	0,1999	0,0100	
	8	0,0134	0,0799	0,1999	0,0100	
	9	0,0130	0,0776	0,1939	0,0097	0,0115 0,0017
Nota. A (Absorbancia), D (Dilución), C (mg As / kg de suelo), $\bar{x}$ (Promedio), σ (Desviación estándar)						
(Autor, 2020)						

9.4 Plomo

Una vez calibrado el equipo VARIAN AA-140 de la Universidad Pontificia Javeriana, se procede a medir la absorbancia del Plomo (Pb), luego de esto se multiplica por el factor que se obtuvo en la dilución inicial; con el resultado anterior se procede a hacer el factor de conversión, como se habló anteriormente en la metodología se hicieron unas digestiones, esto se hace para obtener todo en las unidades mg Pb/kg órgano, las cuales son las utilizadas en la comparación final con la normativa consultada a nivel nacional e internacional.

Datos Calibración Plomo

C (ppm)	A	C ²	A * C	Ac	
1	0,01350	1	0,01350	0,00856	
5	0,06010	25	0,30050	0,04282	
10	0,10230	100	1,02300	0,08565	
20	0,15840	400	3,16800	0,17129	
		526	4,50500	0,00856	116,75916
				w	1/w
Nota. C (Concentración), A (Absorbancia), Ac (Absorbancia Corregida)					
(Autor, 2020)					

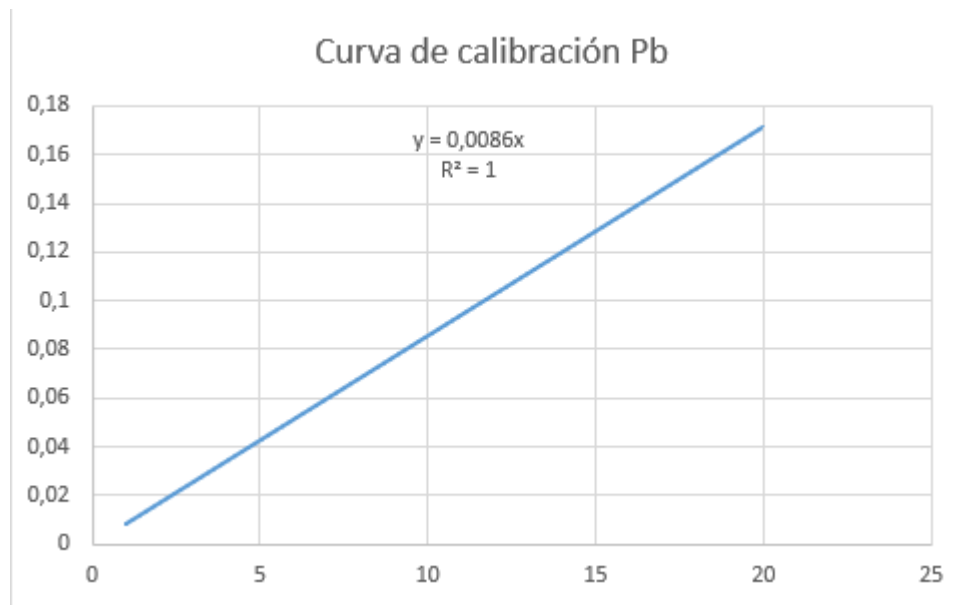


Figura 11 Curva de Calibración Pb

(Autor, 2020)

Tabla 18 Resultados Plomo Suelo

<i>Resultados Plomo Suelo</i>						
	A	A * F	C	D	$\bar{x}$	σ
Suelo	1	0,0268	3,1291	15,6457	0,7823	
	2	0,0774	9,0372	45,1858	2,2593	
	3	0,0426	4,9739	24,8697	1,2435	
	4	0,0253	2,9540	14,7700	0,7385	
	5	0,0262	3,0591	15,2954	0,7648	
	6	0,0265	3,0941	15,4706	0,7735	
	7	0,0261	3,0474	15,2371	0,7619	
	8	0,0270	3,1525	15,7625	0,7881	
	9	0,0270	3,1525	15,7625	0,7881	
<i>Nota.</i> A (Absorbancia), D (Dilución), C (mg As / kg de suelo), $\bar{x}$ (Promedio), σ (Desviación estándar)					0,9889	0,5016

(Autor, 2020)

Tabla 19 Resultados Plomo Fresa

<i>Resultados Plomo Fresa</i>						
	A	A * F	C	D	$\bar{x}$	σ
Fresa	1	0,0235	2,7438	6,8596	0,3430	
	2	0,0701	8,1848	20,4620	1,0231	
	3	0,0461	5,3826	13,4565	0,6728	
	4	0,0217	2,5337	6,3342	0,3167	
	5	0,0230	2,6855	6,7137	0,3357	
	6	0,0230	2,6855	6,7137	0,3357	
	7	0,0222	2,5921	6,4801	0,3240	
	8	0,0248	2,8956	7,2391	0,3620	
	9	0,0242	2,8256	7,0639	0,3532	0,4518 0,2415
Nota. A (Absorbancia), D (Dilución), C (mg As / kg de suelo), $\bar{x}$ (Promedio), σ (Desviación estándar)						
(Autor, 2020)						

9.5 Cromo

Una vez calibrado el equipo VARIAN AA-140 de la Universidad Pontificia Javeriana, se procede a medir la absorbancia del Cromo (Cr), luego de esto se multiplica por el factor que se obtuvo en la dilución inicial; con el resultado anterior se procede a hacer el factor de conversión, como se habló anteriormente en la metodología se hicieron unas digestiones, esto se hace para obtener todo en las unidades mg Cr/kg órgano, las cuales son las utilizadas en la comparación final con la normativa consultada a nivel nacional e internacional.

Datos Calibración Cromo

C (ppm)	A	C ²	A * C	Ac	
0,5	0,00540	0,25	0,0027	0,0059	
1	0,01220	1	0,0122	0,0119	
5	0,05860	25	0,293	0,0595	
10	0,11940	100	1,194	0,1190	
		126,25	1,5019	0,0119	84,0602
				w	1/w
Nota. C (Concentración), A (Absorbancia), Ac (Absorbancia Corregida)					
(Autor, 2020)					

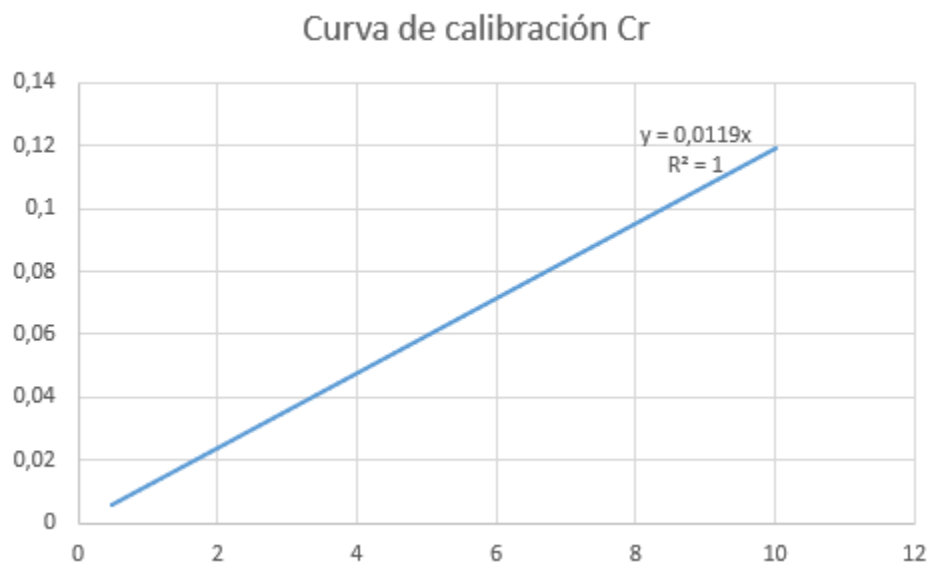


Figura 12 Curva de Calibración Cr

(Autor, 2020)

Tabla 20 Resultados Cromo Suelo

<i>Resultados Cromo Suelo</i>						
	A	A * F	C	D	$\bar{x}$	σ
Suelo	1	0,0739	6,2120	31,0602	1,5530	
	2	0,0715	6,0103	30,0515	1,5026	
	3	0,0763	6,4138	32,0690	1,6034	
	4	0,0675	5,6741	28,3703	1,4185	
	5	0,0674	5,6657	28,3283	1,4164	
	6	0,0670	5,6320	28,1602	1,4080	
	7	0,0658	5,5312	27,6558	1,3828	
	8	0,0650	5,4639	27,3196	1,3660	
	9	0,0636	5,3462	26,7311	1,3366	
<i>Nota.</i> A (Absorbancia), D (Dilución), C (mg As / kg de suelo), $\bar{x}$ (Promedio), σ (Desviación estándar)					1,4430	0,0900

(Autor, 2020)

Tabla 21 Resultados Cromo Fresa

Resultados Cromo Fresa						
	A	A * F	C	D	$\bar{x}$	σ
Fresa	1	0,0485	4,0769	10,1923	0,5096	
	2	0,0540	4,5393	11,3481	0,5674	
	3	0,0550	4,6233	11,5583	0,5779	
	4	0,0568	4,7746	11,9365	0,5968	
	5	0,0760	6,3886	15,9714	0,7986	
	6	0,0731	6,1448	15,3620	0,7681	
	7	0,0733	6,1616	15,4040	0,7702	
	8	0,0719	6,0439	15,1098	0,7555	
	9	0,0719	6,0439	15,1098	0,7555	
Nota. A (Absorbancia), D (Dilución), C (mg As / kg de suelo), $\bar{x}$ (Promedio), σ (Desviación estándar)					0,6777	0,1120

(Autor, 2020)

10. Análisis de Resultados

10.1 Objetivo Específico 1

Determinar la concentración de metales pesados como el Arsénico, Cobalto, Cadmio, Plomo y Cromo acumulados en suelo y fruto de *Fragaria x ananassa* Duch. cv. Albión, cultivada en el municipio de Sibaté – Cundinamarca finca El Rosal, por la técnica de absorción atómica.

Como resultado de este objetivo, se obtuvo la concentración promedio en Partes por millón (ppm) de Arsénico, Cadmio, Cobalto, Cromo y Plomo en suelo y fruto de la planta *Fragaria x ananassa* Duch. cv. Albión como se puede evidenciar en las tablas 22 y 23 junto con su respectiva desviación estándar.

De esta manera se pudo identificar que el Cromo es el metal con mayor presencia tanto en suelo como fruto de *Fragaria x ananassa* Duch. cv. Albión con unas concentraciones de $1,4430 \pm 0,0900$ mg Cr/kg y $0,6777 \pm 0,1120$ mg Cr/kg respectivamente.

Tabla 22 Compilación de Resultados Suelo

Compilación de Resultados Suelo						
Presencia de Metales Pesados en el Suelo (mg metal/Kg órgano - peso fresco) - (ppm)						
	Arsénico	Cadmio	Cobalto	Cromo	Plomo	Total
Suelo	$0,4512 \pm 0,1024$	$0,0289 \pm 0,0032$	$0,0599 \pm 0,0094$	$1,4430 \pm 0,0900$	$0,9889 \pm 0,5016$	$2,9719 \pm 0,7066$
Nota.						
(Autor, 2020)						

Tabla 23 Compilación de Resultados Fruto

Compilación de resultados fruto						
Presencia de Metales Pesados en el Fruto de <i>Fragaria x ananassa</i> Duch. cv. Albión (mg metal/Kg órgano - peso fresco) - (ppm)						
	Arsénico	Cadmio	Cobalto	Cromo	Plomo	Total
Fresa	$0,1893 \pm 0,0370$	$0,0115 \pm 0,0017$	$0,0283 \pm 0,0028$	$0,6777 \pm 0,1120$	$0,4518 \pm 0,2415$	$1,3587 \pm 0,3949$
Nota.						
(Autor, 2020)						

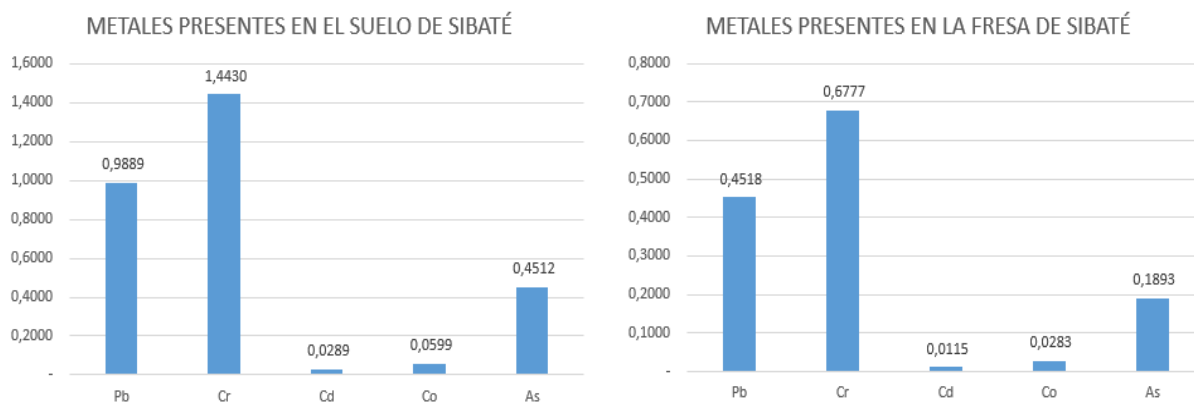


Figura 13 Metales Pesados en Suelo y Fruto

(Autor, 2020)

Como se puede observar en las Figuras 13 y 14, las concentraciones de Cromo y Plomo tanto en suelo como fruto de *Fragaria x ananassa* Duch. cv. Albión son las más altas encontradas, evidenciando una concentración considerablemente superior a las de los otros metales analizados en el presente estudio.

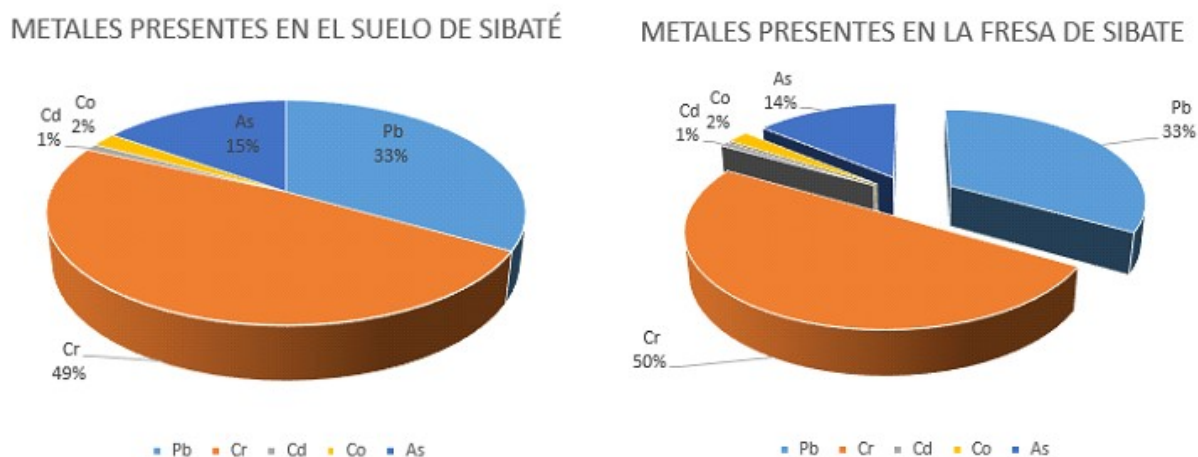


Figura 14 Metales Presentes en Suelo Y Fruto

(Autor, 2020)

Los metales con menor presencia en *Fragaria x ananassa* Duch. cv. Albión son el Cadmio y el Cobalto, con un 1% de incidencia respecto a los demás metales analizados, correspondiente a $0,0289 \pm 0,0032$ y $0,0599 \pm 0,0094$ en suelo y $0,0115 \pm 0,0017$ y $0,0283 \pm 0,0028$ en fruto, respectivamente.

Tabla 24 Método (ANOVA) Objetivo Específico 1

Método	
Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

(Autor, 2020)

Tabla 25 Análisis de Varianza (ANOVA) Objetivo Específico 1

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	4	2,9792	0,74479	51,56	0,000
Error	40	0,5778	0,01445		
Total	44	3,5570			

(Autor, 2020)

Tabla 26 Resumen del Modelo ANOVA

Resumen del modelo			
S	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)	
0,120191	83,75%	82,13%	79,44%

(Autor, 2020)

Se implementa un análisis de varianza a una vía (ANOVA) en el programa Minitab 19 con el fin de determinar si existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los grupos determinados por los metales analizados. Se realiza el análisis de una vía debido a que se analizan dos variables independientes, cada una con 5 categorías: concentración de As, Co, Cd, Pb y Cr y se plantea la hipótesis nula: Todas las medidas son iguales; y la alternativa: No todas las medidas son iguales. Cabe destacar que se propuso igualdad de varianzas para la realización del análisis. Teniendo esto en cuenta, se rechaza la hipótesis nula planteada en el análisis con una $p < 0,05$, debido a que al menos una de las concentraciones planteadas para el estudio se comporta de manera diferente.

Tabla 27 Medias (ANOVA) Objetivo Específico 1

Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Arsénico	9	0,1893	0,0370	(0,1084; 0,2703)
Cobalto	9	0,028300	0,002760	(-0,052672; 0,109272)
Cadmio	9	0,011526	0,001657	(-0,069445; 0,092498)
Plomo	9	0,4518	0,2415	(0,3708; 0,5328)
Cromo	9	0,6777	0,1120	(0,5968; 0,7587)

Desv.Est. agrupada = 0,120191

(Autor, 2020)

En la Tabla 27, se agrupan los datos de cada uno de los metales analizados a fin de determinar la desviación estándar agrupada y los IC (Intervalos de confianza), a fin de describir la variabilidad entre la medida obtenida mediante la implementación del equipo VARIAN AA-140 de la Pontificia Universidad Javeriana y la medida real (compilación de resultados). Se presume una alta probabilidad establecida del 95%, debido a que da la certeza de determinar el valor real del parámetro (Candia & Caiozzi, 2005, p. 133). A partir de esto, se plantea la agrupación de información y las pruebas simultáneas para diferencias de las medias implementando el método de Tukey como se evidencia en las tablas 28 y 29.

Tabla 28 Agrupación de Información Método Tukey, Objetivo Específico 1

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Factor	N	Media	Agrupación
Cromo	9	0,6777	A
Plomo	9	0,4518	B
Arsénico	9	0,1893	C
Cobalto	9	0,028300	C D
Cadmio	9	0,011526	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

(Autor, 2020)

La Tabla 28, se realizó con el fin de determinar si la diferencia media entre cualquier grupo determinado es estadísticamente significativa. La columna de agrupación contiene letras que agrupan las variables por factor. Los grupos que no comparten una letra tienen una diferencia media que se consideró estadísticamente significativa, por lo tanto, se agruparon juntos el arsénico y el cobalto y el cobalto y el cadmio como C y D respectivamente.

Tabla 29 Pruebas Simultáneas de Tukey, Objetivo Específico 1

Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
Cobalto - Arsénico	-0,1610	0,0567	(-0,3229; 0,0008)	-2,84	0,052
Cadmio - Arsénico	-0,1778	0,0567	(-0,3397; -0,0159)	-3,14	0,025
Plomo – Arsénico	0,2625	0,0567	(0,1006; 0,4243)	4,63	0,000
Cromo - Arsénico	0,4884	0,0567	(0,3266; 0,6503)	8,62	0,000
Cadmio - Cobalto	-0,0168	0,0567	(-0,1786; 0,1451)	-0,30	0,998
Plomo – Cobalto	0,4235	0,0567	(0,2616; 0,5854)	7,47	0,000
Cromo – Cobalto	0,6494	0,0567	(0,4876; 0,8113)	11,46	0,000
Plomo – Cadmio	0,4403	0,0567	(0,2784; 0,6021)	7,77	0,000
Cromo – Cadmio	0,6662	0,0567	(0,5044; 0,8281)	11,76	0,000
Cromo – Plomo	0,2259	0,0567	(0,0641; 0,3878)	3,99	0,002

Nivel de confianza individual = 99,32%

(Autor, 2020)

A partir de la Tabla 29, se puede concluir que el intervalo de confianza para la diferencia entre las medidas de Cobalto-Arsénico y Cadmio-Cobalto se extiende de -0,3229;0,0008 y -0,1786;0,1451 respectivamente. Debido a que este rango incluye al 0, es posible afirmar que estas diferencias no son estadísticamente significativas. Los demás intervalos de confianza determinados no incluyen al 0, lo que indica que, según las pruebas simultáneas de Tukey, sus diferencias son estadísticamente significativas. (MSS, 2000)

El nivel de confianza simultáneo es de 95%, lo que indica que existe una certeza del 95% de que todos los intervalos de confianza determinados contienen diferencias estadísticamente reales. El nivel de confianza individual es de 99,32% lo que indica que es posible estar un 99,32% seguros de que cada intervalo de confianza analizado contiene la diferencia real de esa comparación en específico.

Las diferencias de las medias determinadas entre los metales pesados analizados se expresan y clasifican en la Tabla 29.

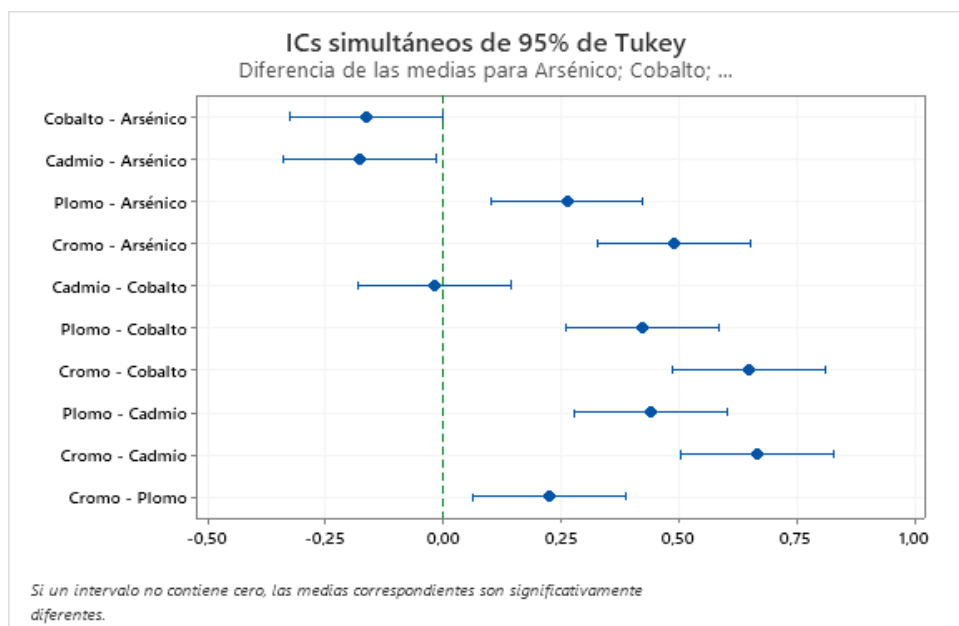


Figura 15 ICs Simultáneos de Tukey

(Autor, 2020)

Además, la desviación estándar agrupada se utilizó para calcular los intervalos con un 95% de IC para la media, como se evidencia en la Figura 16.

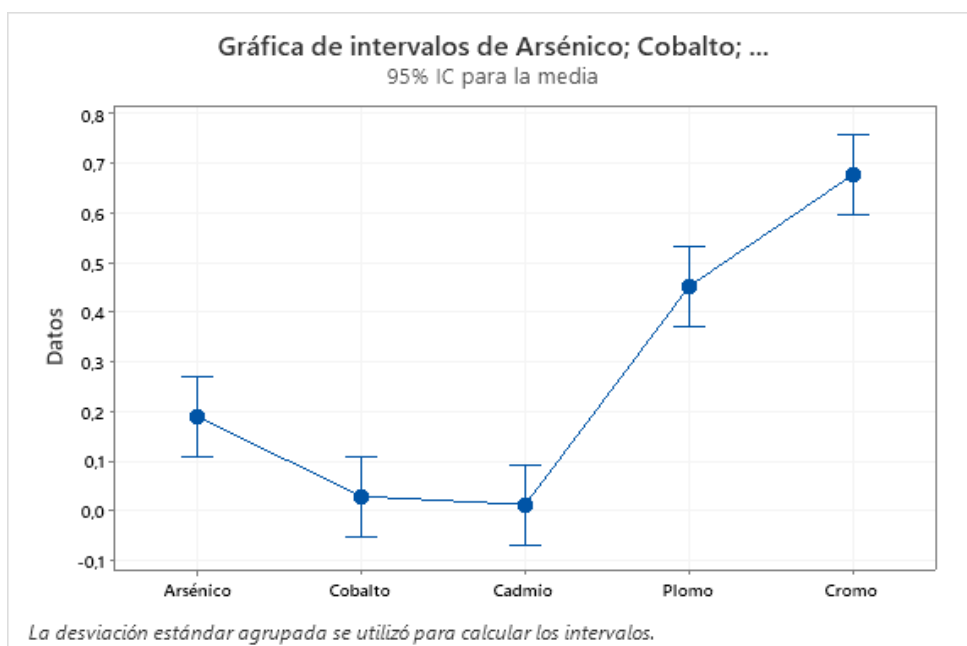


Figura 16 Gráfica de Intervalos

(Autor, 2020)

Por último, se implementó el análisis de correlación de Spearman, una medida no paramétrica de la correlación de rangos entre variables, en este caso, la concentración determinada mediante la metodología planteada para cada uno de los metales planteados. Este coeficiente toma un valor determinado entre +1 y -1 donde se debe tener en cuenta que:

1. Un valor de +1 en ρ significa una perfecta asociación de rango
2. Un valor 0 en ρ significa que no hay asociación de rangos
3. Un valor de -1 en ρ significa una perfecta asociación negativa entre los rangos.

Si el valor de la correlación se acerca a 0, se puede inferir que la asociación entre los dos rangos analizados es más débil. (Martinez et al., 2009)

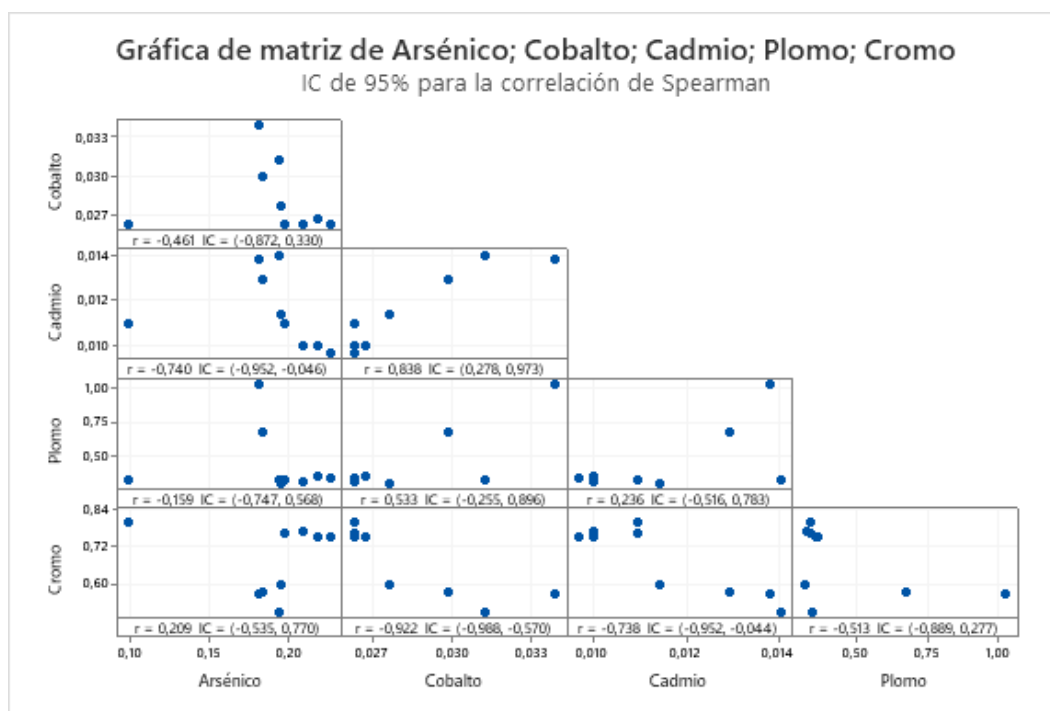


Figura 17 Gráfica de Matriz

(Autor, 2020)

Tabla 30 Correlaciones, Objetivo Específico 1

Correlaciones

	Arsénico	Cobalto	Cadmio	Plomo
Cobalto	-0,461			
Cadmio	-0,740	0,838		
Plomo	-0,159	0,533	0,236	
Cromo	0,209	-0,922	-0,738	-0,513

Tabla 31 Correlaciones en parejas de Spearman, Objetivo Específico 1

Correlaciones en parejas de Spearman

Muestra 1	Muestra 2	N	Correlación	IC de 95% para ρ	Valor p
Cobalto	Arsénico	9	-0,461	(-0,872; 0,330)	0,211
Cadmio	Arsénico	9	-0,740	(-0,952; -0,046)	0,023
Plomo	Arsénico	9	-0,159	(-0,747; 0,568)	0,683
Cromo	Arsénico	9	0,209	(-0,535; 0,770)	0,589
Cadmio	Cobalto	9	0,838	(0,278; 0,973)	0,005
Plomo	Cobalto	9	0,533	(-0,255; 0,896)	0,139
Cromo	Cobalto	9	-0,922	(-0,988; -0,570)	0,000
Plomo	Cadmio	9	0,236	(-0,516; 0,783)	0,540
Cromo	Cadmio	9	-0,738	(-0,952; -0,044)	0,023
Cromo	Plomo	9	-0,513	(-0,889; 0,277)	0,158

(Autor, 2020)

En general, la movilidad de todos los metales pesados es relativamente baja, por lo tanto, suelen quedar acumulados en los primeros centímetros del suelo, llegando a ser lixiviados a los horizontes inferiores en cantidades mínimas pero considerables. Por esto, la presencia de altas concentraciones en el horizonte superior decrece cuando la contaminación proviene de una fuente antrópica. Esto se debe a que la disponibilidad de un metal pesado depende directamente de varios factores, como su especiación y composición química, el pH del medio en que se encuentre, capacidad de intercambio catiónico, conductividad eléctrica, densidad, textura, carbonatos, minerales de la arcilla, entre otros, que, a su vez, llegan a condicionar la disponibilidad de los metales para la posterior absorción de la planta. (Martínez - Vargas, 2017) Algunos metales y metaloides, aunque no son esenciales para las plantas son absorbidos, translocados y acumulados debido a que presentan un comportamiento electroquímico similar a los elementos nutritivos esenciales para las mismas.

El pH del suelo es el factor principal que controla la presencia de la cantidad de formas asimilables de los metales para las plantas. Por lo general, los metales suelen estar más disponibles en medios ácidos, a excepción de metales como el As, Mo, Se y Cr. La reacción del suelo influye directamente en la solubilidad de los metales, lo que quiere decir que, al aumentar el pH del suelo, va a haber una disminución de las formas solubles y por lo tanto la capacidad de absorción de la planta va a ser menor. Por consiguiente, el pH es el mayor responsable de la disponibilidad de muchos elementos, incluidos los metales pesados para las plantas; por lo tanto, el análisis correspondiente a este apartado, se hará teniendo en cuenta principalmente el pH. (Pérez, 1997)

A partir de la Figura 17 y las Tablas 30 y 31, es posible determinar que las parejas de metales resaltadas presentan una correlación significativa gracias a que se tiene una confianza del 95% al igual que en los análisis realizados anteriormente. Según la tabla 31 existe una relación directamente proporcional entre el Cadmio y el Cobalto, esto se debe a que hay una tendencia ácida del pH de los suelos de la zona de Sibaté, según (Vargas et al., 2004) en condiciones de pH básico hay una predominancia de metales como el Co, Cd, Ni, y Zn que son inmóviles geoquímicamente y por lo tanto, pueden coprecipitarse como carbonatos o ser adsorbidas por estos o por oxi-hidratos de Fe o arcillas que se concentran en los suelos. El

Cadmio y el Cobalto, comienzan a ser más asimilables para las plantas en la medida que empieza a decrecer el pH del suelo, el incremento del mismo, llega a reducir la concentración de los demás metales analizados. (Pérez, 1997)

Por otro lado, existe una relación inversamente proporcional entre el Cadmio-Arsénico y Cromo-Cobalto, lo que permite intuir que el aumento de un metal conlleva a la disminución del otro, esto ocurre debido a que el As y el Cd son medianamente móviles en diferentes condiciones de pH, según (Vargas et al., 2004) el pH de los suelos en Sibaté varían de 4 a 6.5, en donde el compuesto más absorbido por la planta va a corresponder principalmente al ion HCrO_4^- que según Sotelo (2012), suelos con pH entre 1 y 6 presenta predominio de este compuesto, mientras que en un pH mayor a 7 hay presencia de CrO_4^{2-} , cabe tener en cuenta que los dos iones anteriormente mencionados son las formas más móviles de Cr (VI) y por lo tanto, pueden ser absorbidos por las plantas o lixiviados a los cuerpos de agua, además, la presencia de carbonatos, oxi-hidróxidos o arcillas favorecen su fijación y acumulación en suelos alcalinos. El Cromo y el Cobalto, por su parte, tienen diferentes zonas y características que facilitan su movimiento y fijación; el Cobalto gracias al pH ácido del suelo, tiene una migración en fase acuosa efectiva, lo que podría explicar sus bajas concentraciones en el presente estudio. (Vargas et al., 2004)

El comportamiento del resto de metales, que no presentan asociación estadística significativa con otros metales, puede estar evidenciando que su origen y distribución principalmente son antrópicos, presumiblemente a partir de residuos de combustión de gasolinas, emisiones de diversas actividades industriales, uso indiscriminado de pesticidas, entre otros que se desarrollan en algunas áreas específicas de la cuenca del Río Bogotá y el embalse El Muña. El plomo es fácilmente absorbido por parte de los materiales arcillosos de los suelos, lo que facilita su presencia en plantas y procesos de la zona. (Vargas et al., 2004)

El estrés y la fitotoxicidad ocasionado por altas concentraciones de metales pesados puede llevar a problemáticas en procesos como la fotosíntesis, la fluorescencia de la clorofila y la resistencia estomatal, además de clorosis, crecimiento débil de las plantas y puede llegar a ocasionar reducción en la captación de nutrientes, afectando el crecimiento y desarrollo de la planta, y, por consiguiente, de su fruto.

De esta forma, se logró identificar la presencia de todos los metales analizados tanto en suelo como fruto de *Fragaria x ananassa* Duch. cv. Albión, en diferentes concentraciones y porcentajes. El patrón de concentraciones en suelo y fruto son similares, el orden de los metales clasificados de mayor a menor concentración es la misma: Cromo, Plomo, Arsénico, Cobalto y Cadmio. Cabe resaltar la presencia, concentración y porcentaje de transferencia del Cromo, Plomo y Arsénico debido a sus efectos e incidencias en la salud de las personas en concentraciones muy bajas.

10.2 Objetivo Específico 2

Analizar el porcentaje de transferencia de metales pesados como el Arsénico, Cobalto, Cadmio, Plomo y Cromo entre el suelo y el fruto de *Fragaria x ananassa* Duch. cv. Albión.

Para la obtención de la transferencia de metales analizada del suelo al fruto de *Fragaria x ananassa* Duch. cv. Albión, se debe tener en cuenta el valor de metal total en la planta y el valor del suelo, en referencia al metal estudiado sea Arsénico, Cadmio, Cobalto, Cromo o Plomo.

El porcentaje de transferencia relaciona principalmente la cantidad de un elemento que hay en el suelo con lo que hay en la planta, en este caso, en el fruto, y es expresado como la cantidad de producto analizado que hay en una relación de pesos y concentraciones. Esta captación y transferencia de metales pesados es un proceso tanto pasivo (no metabólico) como activo (metabólico); estos mecanismos de captación difieren dependiendo del metal y sus características físico-químicas. (Pendias, 2001)

Con las variables claramente definidas se procede a hacer una operación matemática, la cual es el total de metal, sobre el valor de la tierra, el resultado de esto es multiplicado por 100%, ya que la transferencia se expresa en porcentaje.

$$\sum_{\text{metal mg/kg}} (\text{de todos los organos})$$

$$\text{Transferencia} = \frac{\sum \text{ppm fresa}}{\sum \text{ppm suelo}} \times 100\%$$

Se debe tener en cuenta que hay elementos que se pueden absorber más fácil que otros y, además, algunas plantas se consideran como absorbentes selectivos. En general, en cuanto más persiste un elemento contaminante en el suelo más estable se hace y así puede llegar a disminuirse la concentración biodisponible y, por lo tanto, su toxicidad. (Galán - Romero, 2020)

Tabla 32 Porcentajes de Transferencia de *Fragaria x ananassa* Duch. cv. Albión

Porcentaje de Transferencia de <i>Fragaria x ananassa</i> Duch. cv. Albión										
	Pb	D	Cr	D	Cd	D	Co	D	As	D
Fruto	0,4518	0,2415	0,6777	0,1120	0,0115	0,0017	0,0283	0,0028	0,1893	0,0370
Suelo	0,9889	0,5016	1,4430	0,0900	0,0289	0,0032	0,0599	0,0094	0,4512	0,1024
% T	45,6871		46,9660		39,8339		47,2682		41,9612	

Nota. D (Desviación).

(Autor, 2020)

A partir de los resultados obtenidos en la realización de este cálculo, se plantea la Figura 18:

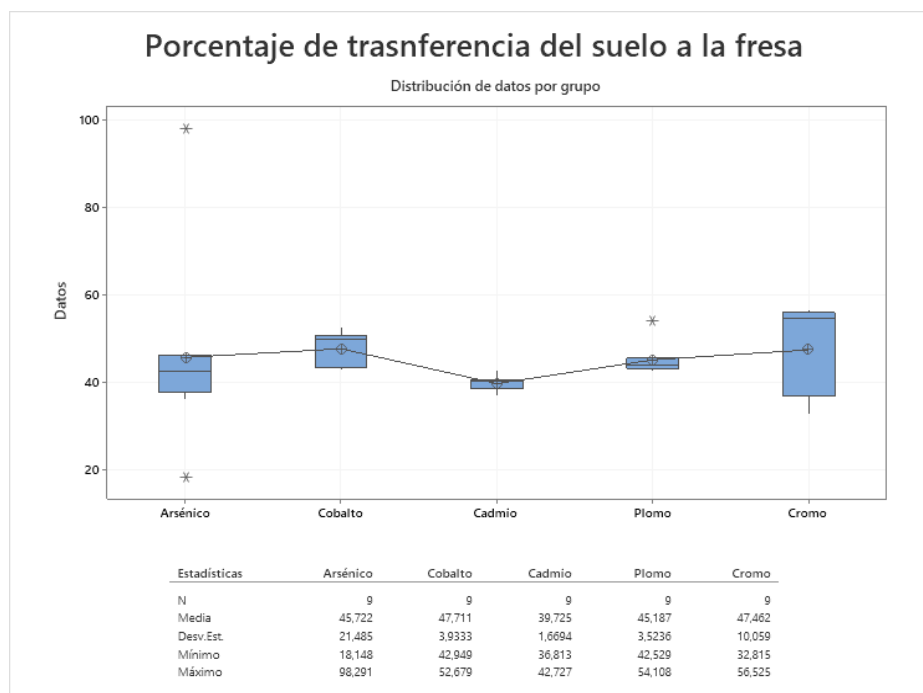


Figura 18 Porcentaje de Transferencia

(Autor, 2020)

A partir de la información recopilada y analizada en la Figura 18, se puede determinar que el mayor porcentaje de transferencia fue el del Cobalto, seguido por el Cromo. El metal con el porcentaje de transferencia más bajo fue el Cadmio.

Se suscitó un análisis estadístico ANOVA a una vía, planteando como hipótesis una diferencia existente entre las medidas con un nivel de significancia de 0,05 teniendo en cuenta una igualdad de varianzas para la realización del análisis como se evidencia en la siguiente tabla:

Tabla 33 Método (ANOVA) Objetivo Específico 2

Método

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

(Autor, 2020)

Tabla 34 Análisis de Varianza (ANOVA) Objetivo Específico 2

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	4	375,0	93,75	0,79	0,539
Error	40	4747,5	118,69		
Total	44	5122,5			

(Autor, 2020)

Tabla 35 Agrupación de la información método de Tukey, Objetivo Específico 2

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Factor	N	Media	Agrupación
Cobalto	9	47,71	A
Cromo	9	47,46	A
Arsénico	9	45,72	A
Plomo	9	45,19	A
Cadmio	9	39,725	A

(Autor, 2020)

A partir del método de Tukey, se puede inferir que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre los porcentajes de transferencia determinados en el presente estudio.

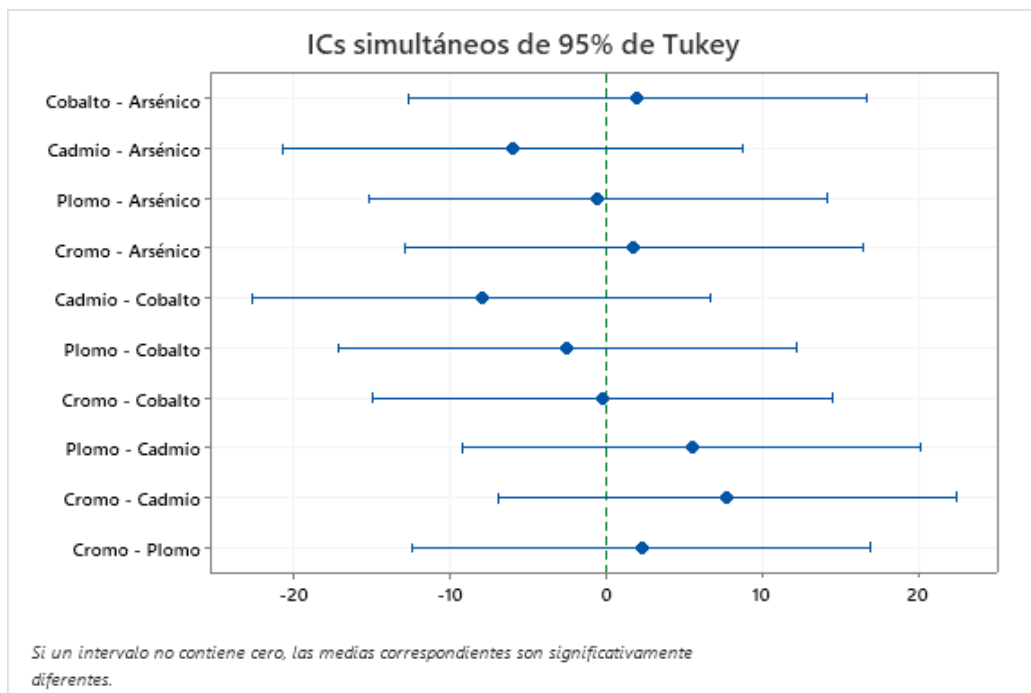


Figura 19 ICs Simultáneos de Tukey

(Autor, 2020)

A partir de este análisis, es posible afirmar la hipótesis nula planteada, no existen diferencias estadísticamente significativas entre los porcentajes de transferencia entre los diferentes metales analizados, a diferencia del análisis realizado para las concentraciones de los metales.

Por último, se realizó un análisis en parejas de Spearman, lo que permitió concluir que solamente existe una correlación directa entre el Cromo y el Cadmio en el suelo, como se evidencia en la Tabla 36.

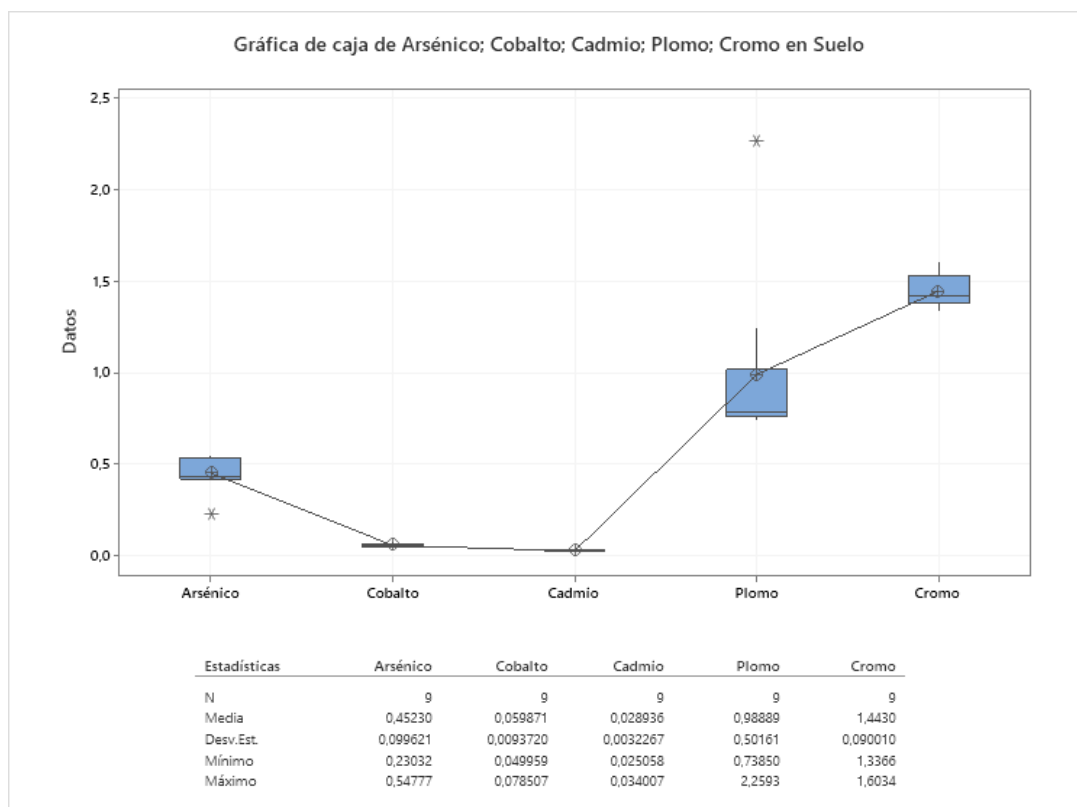


Figura 20 Gráfica de Caja Estadísticas Metales

(Autor, 2020)

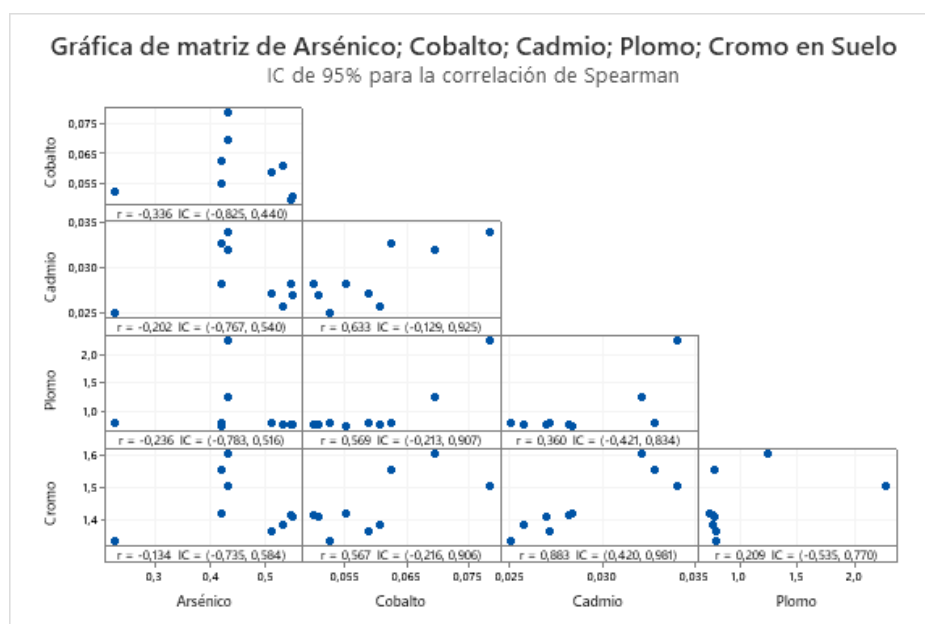


Figura 21 Gráfica de Matriz

(Autor, 2020)

Tabla 36 Correlaciones en parejas de Spearman, Objetivo Específico 2

Correlaciones en parejas de Spearman

Muestra 1	Muestra 2	N	Correlación	IC de 95% para p	Valor p
Cobalto	Arsénico	9	-0,336	(-0,825; 0,440)	0,376
Cadmio	Arsénico	9	-0,202	(-0,767; 0,540)	0,603
Plomo	Arsénico	9	-0,236	(-0,783; 0,516)	0,540
Cromo	Arsénico	9	-0,134	(-0,735; 0,584)	0,730
Cadmio	Cobalto	9	0,633	(-0,129; 0,925)	0,067
Plomo	Cobalto	9	0,569	(-0,213; 0,907)	0,110
Cromo	Cobalto	9	0,567	(-0,216; 0,906)	0,112
Plomo	Cadmio	9	0,360	(-0,421; 0,834)	0,342
Cromo	Cadmio	9	0,883	(0,420; 0,981)	0,002
Cromo	Plomo	9	0,209	(-0,535; 0,770)	0,589

(Autor, 2020)

Se debe tener en cuenta que, en materia de metales pesados, la ruta suelo-planta y más específicamente suelo-fruto es la ruta más común por la que suelen introducirse los metales pesados en la cadena alimentaria. Existen diversos factores, que al igual que en la cuantificación de metales, que afectan directamente la acumulación y disponibilidad de los metales, como el pH, el parámetro más importante para definir la capacidad de movimiento de un metal, debido a que las fracciones móviles de iones ocurren en los rangos menores de pH como es el caso de la zona de la vereda El Perico. Otro factor a tener en cuenta, son las condiciones de óxido reducción y del cambio directo en la valencia de los metales; debido a que afectan directamente la movilidad de los metales, siendo la mayoría de estos solubles en medios reducidos, este factor se encuentra estrechamente relacionado con el pH del suelo, debido a que es un factor que condiciona tanto las reacciones como las actividades microbianas que tienen lugar en el medio. La materia orgánica tiene una gran importancia en todos los procesos de adsorción del suelo, actúa como liga en los complejos del intercambio, mediante la transferencia de electrones de ciertas moléculas a cationes metálicos que pueden migrar con facilidad a lo largo del perfil, por lo tanto, la complejación por parte de la materia orgánica es uno de los procesos que condiciona la solubilidad, bioasimilabilidad y biodisponibilidad de metales pesados. Por último, la CIC (Capacidad de Intercambio Catiónico) condiciona la capacidad del suelo para fijar metales dado un pH establecido, el poder de adsorción de los distintos metales pesados depende de su valencia y del radio iónico hidratado, en el caso del presente estudio, se determinó una baja CIC debido al pH ácido establecido para los suelos de la zona de muestreo.

El porcentaje de transferencia más alto encontrado en el presente estudio fue el del Cobalto, evidenciando la interacción existente entre las condiciones de pH del municipio y la disponibilidad de metales pesados. Según (Galán Huertos & Romero Baena, 2020) en un medio ácido, la movilidad de metales como el Zn, Cu, Co, Ni, Hg, Ag y Au es considerada alta, conllevando a un incremento evidenciado en los resultados de la concentración en el fruto de las plantas debido a un proceso de transferencia de metales.

10.3 Objetivo Específico 3

Comparar las concentraciones encontradas en el fruto de *Fragaria x ananassa* Duch. cv. Albión con la normatividad nacional e internacional.

Los resultados expuestos en el presente trabajo se analizaron bajo dos aspectos fundamentales, la legislación nacional e internacional vigente y estudios epidemiológicos o reportes de afectaciones a la salud en el municipio de Sibaté-Cundinamarca.

De esta forma, fue posible relacionar las enfermedades reportadas en la zona de estudio con la existencia, interacción e ingesta de los metales analizados en el estudio.

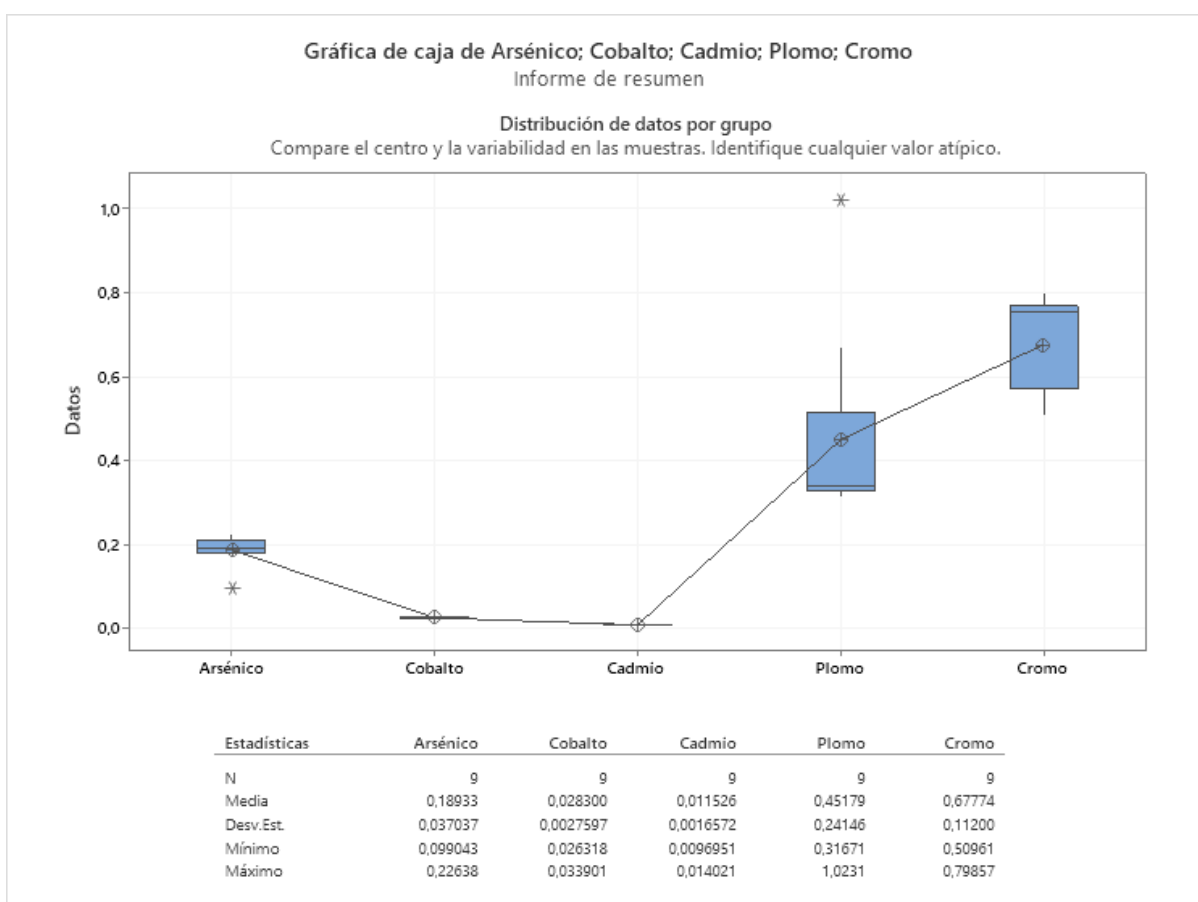


Figura 22 Gráfica de Caja Concentraciones Finales

(Autor, 2020)

A partir de la Figura 22, es posible realizar un análisis correlacional entre la media de los valores obtenidos en el presente estudio con el valor límite permitido normativamente a nivel nacional e internacional, como se muestra en la Tabla 37

Tabla 37 Comparación de Resultados con Normatividad Nacional e Internacional

NORMATIVIDAD NACIONAL E INTERNACIONAL (mg metal/Kg órgano - peso fresco) - (ppm)											
NORMATIVIDAD PARA CADMIO (Cd)											
Órgano	País	Colombia	UE	Australia	Nueva Zelanda	Brasil	EEUU	Rusia	Sudáfrica	Suiza	Codex Alimentarius
Fruto	Norma	0,050	0,050	NA	NA	1	0,10	0,3	0,5	0,5	0,5
						0,0115±0,0017					
NORMATIVIDAD PARA COBALTO (Co)											
Órgano	País	Colombia	UE	Australia	Nueva Zelanda	Brasil	EEUU	Rusia	Sudáfrica	Suiza	Codex Alimentarius
Fruto	Norma	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
						0,0283±0,0028					
NORMATIVIDAD PARA CROMO (Cr)											
Órgano	País	Colombia	UE	Australia	Nueva Zelanda	Brasil	EEUU	Rusia	Sudáfrica	Suiza	Codex Alimentarius
Fruto	Norma	NA	NA	NA	NA	0,10	0,05	NA	NA	NA	NA
						0,6777±0,1120					
NORMATIVIDAD PARA ARSÉNICO (As)											
Órgano	País	Colombia	UE	Australia	Nueva Zelanda	Brasil	EEUU	Rusia	Sudáfrica	Suiza	Codex Alimentarius
Fruto	Norma	NA	NA	NA	NA	NA	0,05	NA	NA	NA	NA
						0,1893±0,0370					
NORMATIVIDAD PARA PLOMO (Pb)											
Órgano	País	Colombia	UE	Australia	Nueva Zelanda	Brasil	EEUU	Rusia	Sudáfrica	Suiza	Codex Alimentarius
Fruto	Norma	0,20	0,1	0,1	0,50	0,2	0,5	0,2	0,2	0,1	0,10
						0,4518±0,2415					
(Autor, 2020)											

(Autor, 2020)

10.3.1 Cadmio

Es uno de los mayores agentes tóxicos asociados a la contaminación tanto ambiental como industrial, gracias a sus características y desenvolvimiento en un ambiente natural. Usos tan diversos que van desde pigmento en pinturas, esmaltes, plásticos, textiles, vidrios, tintas de impresión, caucho, lacas, entre otros, hasta la fabricación de controles de reactores naturales, hacen que el proceso de reciclaje y tratamiento final sean imposibles de realizar en su totalidad, por lo que se acumula progresivamente en el ambiente. (Ramírez, 2002)

De acuerdo con la normatividad nacional, según la resolución 4506 de 2013, las muestras frescas que presenten Cadmio (Cd) no pueden exceder el umbral de 0,050 ppm, al igual que la normativa internacional determinada en países como los pertenecientes a la Unión Europea, Brasil, Rusia, Sudáfrica, Suiza y el Codex alimentarius; por lo tanto, el fruto de *Fragaria x ananassa* Duch. cv. Albión del municipio de Sibaté en Cundinamarca, cumple con los límites establecidos nacional e internacionalmente.

Cabe resaltar en este apartado, la concentración exigida por la normatividad colombiana en contraste con la de países como Brasil, Sudáfrica y Rusia, debido a que ellos permiten una concentración mayor en un 2000%, 1000% y 600% respectivamente.

10.3.2 Cobalto

Es un metal que se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza, aproximadamente el 0,001% del total de las rocas pertenecientes a la clasificación de ígneas de la corteza terrestre contiene cierto porcentaje de Cobalto. Se halla en meteoritos, estrellas, mar, aguas dulces, suelos, plantas y animales. Además, es un metal esencial para el desarrollo normal del hombre, debido a su relevancia en procesos bioquímicos, si se encuentra en concentraciones adecuadas. Tanto en el cuerpo humano como en la naturaleza, las concentraciones elevadas de este metal causan efectos tóxicos, los cuales dependen de factores físicos y químicos del medio. (Pérez, 1997)

De esta forma, surge la interrogativa de por qué no existe normativa actual para las concentraciones máximas en alimentos tan comunes como los frutos frescos, que son de consumo cotidiano y regular en Colombia.

10.3.3 Cromo

El cromo es un elemento metálico con amplia distribución en medios naturales, en su mayoría, en forma de crocoíta, ocupa el cuarto lugar entre los 29 elementos biológicamente más importantes de la corteza terrestre. Está clasificado como un elemento altamente tóxico para el ser humano y está catalogado por la IARC en el grupo I (cancerígeno comprobado en humanos) debido a que la exposición ocupacional demostró causar cáncer en el sistema respiratorio. Las poblaciones que están más expuestas a este metal son trabajadores de curtidurías, talleres de acabados, industria de preparación y curtido de pieles, fabricación de pulpa de madera, imprentas e industrias básicas del hierro y el acero; actividades que se realizan actualmente en varios tramos de la cuenca del Río Bogotá y en cercanías al embalse El Muña. (ATSDR, 2015)

La concentración de este metal, fue la más alta determinada en las muestras tomadas en el municipio de Sibaté; el único país que establece un máximo de la concentración permitido es Brasil, con un 0,10 ppm, lo que significa que la concentración encontrada en el presente estudio la supera en un 677,7%.

10.3.4 Arsénico

El arsénico se encuentra naturalmente en el suelo y en diversos minerales, por lo que se integra con facilidad a todo tipo de ecosistemas. Causa alteraciones gastro-intestinales, hepáticos, renales, cardio vasculares, neurológicos, dérmicos, respiratorios, reproductivos, entre muchos otros. (ATSDR, 2015)

No existe un máximo en la concentración en frutos frescos en la normativa nacional, el umbral determinado en la resolución 4506 de 2013 es para sal de calidad alimentaria y aguas minerales naturales en donde se determina un máximo de 0,01 y 0,5 mg/kg del metal respectivamente.

10.3.5 Plomo

La exposición por diversas fuentes al plomo es un problema que ha escalado históricamente a un problema de salud pública en escala mundial. Según la (OMS, 2020), ha sido motivo de complicaciones debido a la exposición crónica y alimentaria causando alrededor de 143.000 muertes al año. (Azcona et al., 2015, p. 75)

En la resolución 4506 de 2013, se establece un máximo de 0,20 ppm en frutos frescos, lo que significa que la concentración determinada para el fruto de *Fragaria x ananassa* Duch. cv. Albión del municipio de Sibaté, excede en un 225,9% el máximo establecido en Colombia, Brasil, Rusia y Sudáfrica. Se determinó que la concentración encontrada supera en un 451,8% la normatividad de la Unión Europea, Australia y Suiza. Por otra parte, cumple con la normatividad determinada en Nueva Zelanda y Estados Unidos, por una diferencia del 9,64% con el máximo permitido.

Por lo tanto, es posible relacionar el aumento de riesgo y la presencia de enfermedades o síntomas al consumo de alimentos contaminados por metales pesados en la población del municipio de Sibaté. En su Plan Territorial de la Salud “Sibaté: Solidario y sostenible, gobierno para todos”, como se puede evidenciar en la Figura 23.

Mortalidad	Prioridad	Cundinamarca 2017	Sibaté 2017	Tendencia 2005 a 2017	Grupos de Riesgo (MIAS)
General por grandes causas*	Enfermedades transmisibles	28,22	54.21	Aumentó	009
	Enfermedades sistema circulatorio	165,19	125.92	Disminuyó	001
	Neoplasias	90,42	70.86	Disminuyó	007
	Causas externas	41,35	48.92	Aumentó	012
Específica por Subcausas o subgrupos	Enfermedades transmisibles: Infección respiratoria aguda	19,39	37.14	Aumentó	009
	Todas las demás causas: Enfermedades del Sistema digestivo	16.134	32.48	Aumentó	000
	Neoplasias: Tumor en otras localizaciones	14.05	16.15	Aumentó	007
	Causas externas: Agresiones (homicidios)	13.38	20.83	Aumentó	012
	Enfermedades sistema circulatorio: enfermedad isquémica del corazón	87,5	65.15	Disminuyó	001
	Razón de mortalidad neonatal	6,23	6,52	Mantuvo	008
Mortalidad Materno	Razón de mortalidad infantil	9,39	10.83	Aumentó	008

Figura 23 Mortalidad en Sibaté, 2017

(Alcaldía Municipal de Sibaté, 2020)

11. Conclusiones

Ingerir fresa de la variedad *Fragaria x ananassa* Duch. cv. Albión cultivada en la finca El Rosal, incrementa el riesgo de presentar alteraciones en la salud de los consumidores debido a que se exceden las concentraciones permitidas a nivel nacional e internacional de metales pesados como el Cobre, Cromo, Arsénico y Plomo.

La concentración de Cromo y Plomo en el suelo y fruto de *Fragaria x ananassa* Duch. cv. Albión fue la más alta de los metales analizados en el presente estudio; evidenciando que deben ser considerados elementos críticos a vigilar por parte de autoridades reguladoras.

El porcentaje de transferencia de metales pesados en *Fragaria x ananassa* Duch. cv. Albión es alto; llevando a procesos de bioacumulación y biomagnificación en consumidores debido a la alta presencia de metales pesados en suelo y agua de riego de la zona de muestreo.

En Colombia, además de que no existe normatividad que limite la concentración de algunos metales pesados, tampoco existe una constancia en el seguimiento y control de la industria alimentaria, ya que, de los cinco metales analizados, solo se cuenta con normativa para dos y a pesar de que se incumple, el fruto sigue siendo de venta libre.

12. Recomendaciones

Se hace un llamado tanto a las autoridades pertinentes, como a la Secretaría de Salud, a ejercer un control eficaz y eficiente sobre los alimentos cultivados en el municipio de Sibaté y sus alrededores, debido a que se están excediendo los niveles de concentración de metales pesados en sus alimentos.

Se sugiere al Ministerio de Salud y Protección Social, ampliar el alcance determinado en la Resolución 4506 de 2013, por el cual se establecen los niveles máximos de contaminantes en los alimentos destinados al consumo humano, a incluir metales como el Arsénico, Cobre, Cobalto y Cromo en todo tipo de alimentos debido a su potencial tóxico en la salud de los consumidores.

Se hace un llamado a organizaciones, estudiantes y docentes a fomentar proyectos investigativos, realizar capacitaciones y foros informativos en el municipio de Sibaté, con el fin de generar espacios teóricos y prácticos que permitan generar conocimientos en materia de salud ambiental e inocuidad alimentaria.

A la ciudadanía en general, se hace un llamado para tener un mejor protocolo de higiene de los alimentos, teniendo en cuenta su sitio de compra, su limpieza antes del consumo y el posterior manejo de residuos.

13. Referencias



Agency for Toxic Substances & Disease Registry. (2015). Public Health Statement for Chromium. ATSDR. <https://www.atsdr.cdc.gov/phs/phs.asp?id=60&tid=17>

Alcaldía de Sibaté. (2016). Sibaté, gobierno para todos. <http://www.sibate-cundinamarca.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx>

Alcaldía Municipal de Sibaté. (2020, mayo). *Identificación de prioridades en salud del municipio de Sibaté, año 2017* [Tabla]. Ministerio de Salud. https://concejosibate.micolombiadigital.gov.co/sites/concejosibate/content/files/000222/11065_pts-20202023.pdf (imagen)

Apaza Aguilar, E., & Quispe Molina, G. (2014). Contaminación ambiental y seguridad alimentaria nutricional de familias de la ciudad de Puno (Doctorado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

Azcona Cruz, M. I., Ramírez, R., & Vicente Flores, G. (2015). Efectos tóxicos del plomo. Revista Especializada Médica Quirúrgica, 72-77. <https://www.medigraphic.com/pdfs/quirurgicas/rmq-2015/rmq1511.pdf>

Bayer CropScience S.A. (2009). Fresa, Frágula, Ananás. Univisual Ltda. https://www.cropscience.bayer.co/~media/Bayer%20CropScience/Peruvian/Country-Colombia-Internet/Pdf/Cartilla-FRESA_baja.ashx

Cámara de Comercio de Bogotá. (2015). Fresa programa de apoyo agrícola y agroindustrial vicepresidencia de fortalecimiento empresarial Cámara de Comercio de Bogotá. Núcleo Ambiental S.A.S. <https://docplayer.es/14058072-Fresa-programa-de-apoyo-agricola-y-agroindustrial-vicepresidencia-de-fortalecimiento-empresarial-camara-de-comercio-de-bogota.html>

Candia, R., & Caiozzi, G. (2005). Intervalos de Confianza. Revista médica de Chile, 9, 133. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-98872005000900017#:~:text=El%20intervalo%20de%20confianza%20describe,real%20de%20una%20determinada%20variable

Castro Concha, A. (2004). Solventes y diluyentes para la remoción de barnices: revisión de la teoría básica para la conceptualización del trabajo práctico. REVISTA CONSERVA N° 8. http://www.patrimoniocultural.gob.cl/dinamicas/DocAdjunto_632.pdf

Combariza Bayona, D. (2009). Contaminación por metales pesados en el embalse del Muña y su relación con los niveles en sangre de plomo, mercurio y cadmio y alteraciones de salud en los habitantes del municipio de Sibaté (Cundinamarca) 2007 (Magister). Universidad Nacional de Colombia.

DANE. (2018, enero). Insumo y factores asociados a la producción agropecuaria (N.º 67). https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos_e_ne_2018.pdf

Durán Cuevas, P. (2010). Transferencia de metales de suelo a planta en áreas mineras: Ejemplos de los Andes peruanos y de la cordillera Prelitoral Catalana (Doctorado). Universidad de Barcelona.

European Virtual Institute for Speciation Analysis. (2010). Instrument Database: Varian Inc. AA-140. evisa. <http://www.speciation.net/Database/Instruments/Varian-Inc-Part-A/AA-140-;i203>

Fernández Bremauntz, A. (2004). Evaluación del Riesgo para las Sustancias Tóxicas Persistentes. En M. Yarto Ramírez & J. Castro Díaz (Eds.), *Las sustancias tóxicas persistentes* (1.a ed., Vol. 1, pp. 233-245). Instituto Nacional de Ecología.

Figueroa, S. (2012). Introducción a la salud pública. Universidad de San Carlos. <https://saludpublicayepi.files.wordpress.com/2012/06/documento-3er-parcial-compilacion-4-documentos.pdf>

Galán Huertos, E., & Romero Baena, A. (2020). Contaminación de Suelos por Metales Pesados. Lecture, Sevilla.

Galindo Triana, G. (2015). Hábitos de consumo de frutas y hortalizas en personas de 15 a 39 años, habitantes de Bogotá. (Magister) Universidad Nacional de Colombia.

García Reynoso, J. A., Gruttier, M., & Cintora Juárez, D. (2007). Evaluación del riesgo por contaminantes criterio y formaldehído en la Ciudad de México. *Rev. Int. Contam. Ambient.*, 23(4), 169-175. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v23n4/v23n4a2.pdf>

Gimferrer Morato, N. (2012, 3 diciembre). ¿Cómo afecta la contaminación ambiental a los alimentos? Consumer. <https://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/como-afecta-la-contaminacion-ambiental-a-los-alimentos.html> (Gimferrer Morato, 2012)

Guerrero Riascos, R. (2010). Propiedades generales de los fertilizantes. <http://www.monmeros.com/descargas/dpmanualfertilizacion.pdf>

Hernández Gil, R. (2009). Importancia socioeconómica del sector frutícola en Colombia. Universidad de la Salle. Retrieved from

https://ciencia.lasalle.edu.co/administracion_agronegocios/193

Instituto Nacional de Salud. (2018, diciembre). Enfermedades transmitidas por Alimentos-ETA (N.o 52).

<https://www.ins.gov.co/buscador-eventos/BoletinEpidemiologico/2018%20Bolet%C3%ADn%20epidemiol%C3%B3gico%20semana%2052.pdf>

Londoño Franco, L. F., Londoño Muñoz, P. T., & Muñoz Garcia, F. G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145-153. <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v14n2/v14n2a17.pdf>

López, G. I., Cruz Monterrosa, A., Díaz Ramírez, M., & Rayas Amor, A. A. (2017). Cuantificación de metales pesados en el cultivo de la fresa (*Fragaria xananassa* Duch. var. festival) en Tenancino y Villa guerrero estado de México. *Agroproductividad*, 10(10), 29-33. <http://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/92>

Martínez Cardozo, L. A., & Vargas Peña, Y. A. (2017). Evaluación de la contaminación en el suelo por plomo y cromo y planteamiento de remediación en la represa del Muña, municipio de Sibaté-Cundinamarca. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/388

Martínez Ortega, Rosa María, & Tuya Pendás, Leonel C., & Martínez Ortega, Mercedes, & Pérez Abreu, Alberto, & Cánovas, Ana María (2009). El coeficiente de correlación de los rangos de spearman caracterización. *Revista Habanera de Ciencias*

Médicas, 8(2), [fecha de Consulta 13 de Octubre de 2020]. ISSN: . Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=1804/180414044017>

Ministerio de Salud y Protección Social. (2013). Calidad e Inocuidad de Alimentos. <https://www.minsalud.gov.co/salud/Documents/general-temp-jd/LA%20INOCUIDAD%20DE%20ALIMENTOS%20Y%20SU%20IMPORTANCIA%20EN%20LA%20CADENA%20AGROALIMENTARIA.pdf>

MINITAB STATISTICAL SOFTWARE. (2000). Minitab. Recuperado 12 de agosto de 2020, de <https://www.minitab.com/es-mx/products/minitab/>

Newman, M. C. (2015). Fundamentals of ecotoxicology, the science of pollution (4.a ed.). CRC Press. https://www.academia.edu/36872120/Newman_Michael_C_Fundamentals_of_Ecotoxicology_The_Science_of_Pollution_2014_CRC_Press_

Organización Mundial de la Salud. (2018, 12 febrero). Arsénico. Who. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>

Organización Mundial de la Salud. (2020, 30 abril). Inocuidad de los alimentos. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/food-safety>

Organización Panamericana de la Salud. (2015). Organización Panamericana de la Salud: Aspectos conceptuales y operativos. OPS. https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=14402:health-indicators-conceptual-and-operational-considerations-section-2&Itemid=0&lang=es#:~:text=Concepto%3A%20La%20tasa%20de%20incidencia,y%20durante%20un%20per%C3%ADodo%20específico.

Ortiz Amaya, A. E., & Martínez Martínez, M. I. (2011). Inocuidad Alimentaria: Panorama en Colombia. Conexión Agropecuaria JDC, 1(1), 37-44. Recuperado a partir de <https://www.jdc.edu.co/revistas/index.php/conexagro/article/view/345>

Pajoy, M. (2017). Potencial fitorremediador de dos especies ornamentales como alternativa de tratamiento de suelos contaminados con metales pesados. (Doctorado). Universidad Nacional de Colombia.

Peña Rivera, F. de M., & Beltrán Lázaro, E. . (2019). Aplicación de la fitorremediación en suelos contaminados por metales pesados utilizando *Helianthus annuus* L. en la Estación Experimental El Mantaro. Prospectiva Universitaria, 9(1), 31-45. <https://doi.org/10.26490/uncp.prospectivauniversitaria.2012.9.34>

Pérez Espinosa, A. (1997). Dinámica y Efectos del Cobalto en el Sistema Suelo-Planta (Doctorado). Universidad de Alicante. Retrieved from <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/3810>

Pérez López, E., & Alvarado Rodríguez, D. C. (2018, diciembre). Cuantificación por absorción atómica de Cu, Fe y Zn en alcohol destilado y agua. UNED Research Journal, 10(2). <https://www.scielo.sa.cr/pdf/cinn/v10n2/1659-4266-cinn-10-02-387.pdf>

Pérez, G. (2017). Espectrometría espectrometría. Recuperado 13 de agosto de 2020, de https://www.espectrometria.com/espectrometra_de_absorción_atmica

Prieto Méndez, Judith, & González Ramírez, César A., & Román Gutiérrez, Alma D., & Prieto García, Francisco (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 11 de Agosto de 2020]. ISSN: . Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=939/93911243003>

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2012, diciembre). Mi entorno perdurable.

<http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2011/CD001478.pdf>

Ramírez, Augusto (2002). Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos. *Anales de la Facultad de Medicina*, 63(1),51-64.[fecha de Consulta 13 de Octubre de 2020]. ISSN: 1025-5583. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=379/37963107>

Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz, M., & González, E. (2016). Heavy metals contamination: implications for health and food safety. *Revista ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 16(2), 66-77. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6096110> (Reyes et al., 2016, p. 70)

Rosas Peña, I. (2008). Fitoextracción de metales pesados presentes en sedimentos contaminados utilizando *Eucalyptus globulus*. (Maestría). Universidad de los Andes.

Sarmiento, María & Idrovo, Alvaro & Restrepo, Mauricio & Díaz-Murillo, María del Pilar & González, Alejandro. (1999). Evaluación del Impacto de la Contaminación del Embalse del Muña Sobre la Salud Humana. *Revista de salud pública* (Bogotá, Colombia). 1. 159-171.

Solano Arce, M. (2011). Impacto ambiental por aguas residuales y residuos sólidos en la calidad del agua de la parte media- alta de la microcuenca del río Damas y propuesta de manejo (Licenciatura). Universidad Nacional de Costa Rica.

Skoog, D., F. Holler y T. Nieman. 2001. Principios de Análisis Instrumental. Mc Graw Hill/Interamericana de España, S.A.U, 5 edición

Texas Department of State Health Services. (2012, marzo). Lo que usted debe saber del cobalto. Texas Department of State Health Services Environmental and Injury Epidemiology & Toxicology Group. [https://www.dshs.texas.gov/WorkArea/linkit.aspx?LinkIdentifier=id&ItemID=8589970017#:~:text=El%20cobalto%20es%20un%20metal,actividades%20de%20minas%20de%20cobre.&text=El%20cobalto%20es%20mezclado%20frecuentemente,\(la%20mezcla%20de%20metales\)](https://www.dshs.texas.gov/WorkArea/linkit.aspx?LinkIdentifier=id&ItemID=8589970017#:~:text=El%20cobalto%20es%20un%20metal,actividades%20de%20minas%20de%20cobre.&text=El%20cobalto%20es%20mezclado%20frecuentemente,(la%20mezcla%20de%20metales)).

Vargas, O., Prieto, G., González, L. M., & Matamoros, A. (2004, julio). Geoquímica de metales en suelos de la cuenca del río Bogotá. <http://recordcenter.sgc.gov.co/B11/23008001024383/Documento/pdf/Geoqu%C3%AADmica%20de%20Metales%20Pesados%20en%20Suelos%20de%20la%20Cuenca%20del%20r%C3%ADo%20Bogot%C3%A1.pdf>

14. Anexos

14.1 Anexo 1. Registro Fotográfico Salida de Campo



Ilustración II Cultivo Finca el Rosal



Ilustración I Fresa Recolectada para Comercialización en la Finca El Rosal



Ilustración IV Fragaria x ananassa albión Sibaté



Figura III Almacenamiento de Muestras en Fresco.

14.2 Anexo 2. Registro Fotográfico Práctica de Laboratorio



Figura VII Procesamiento Inicial de Muestras fundación Juan N. Corpas



Figura VI Pesaje de suelo



Figura V Pesaje de Muestras.

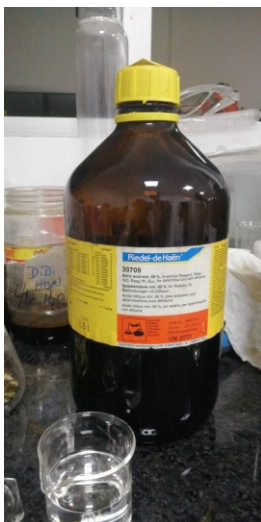


Figura IX Digestión Ácida en Frío. Ácido Nítrico.



Figura VIII Digestión Ácida en Frío. Ácido Clorhídrico.



Figura X Digestión Ácida en Frío.



Figura XI Digestión Ácida en Frío. Relación 1:1

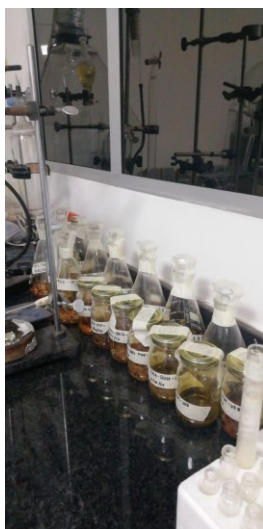


Figura XII Digestión Ácida en Frío. Obtención de Cloruros y Nitratos.



Figura XIII Registro Muestras Después de 30 días.



Figura XIV Filtración de Muestras.



Figura XV Filtración. Procesamiento de Muestras



Figura XVII Agua T1.



Figura XVI Filtración y Aforo a 50ml con agua T1



Figura XX Almacenamiento Muestras Ámbar.



Figura XIX Transporte de Muestras a la Pontificia Universidad Javeriana.

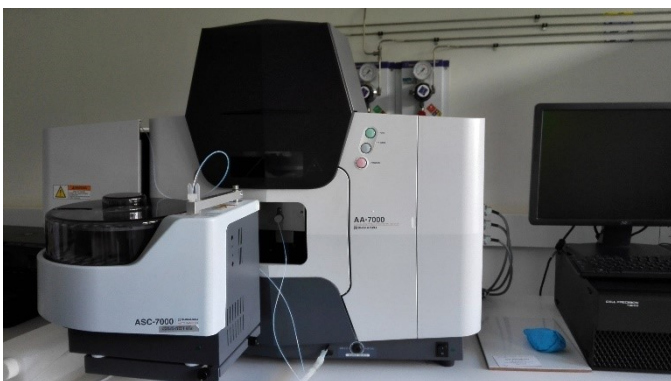


Figura XVIII VARIAN AA-140 Pontificia Universidad Javeriana

14.3 Anexo 3. Fichas técnicas

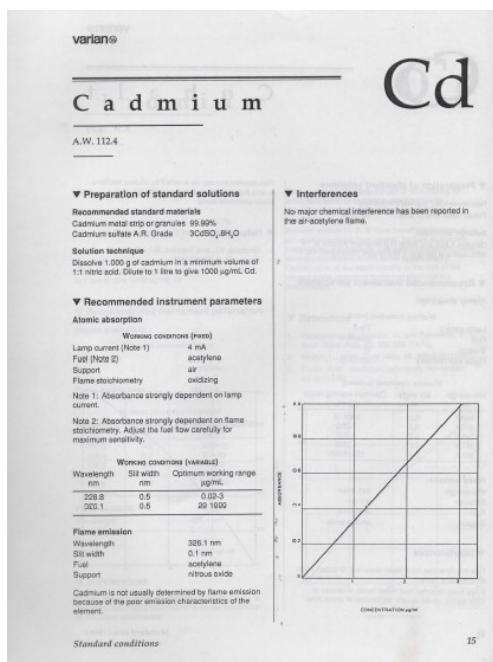


Figura XXI Ficha Técnica Cadmio

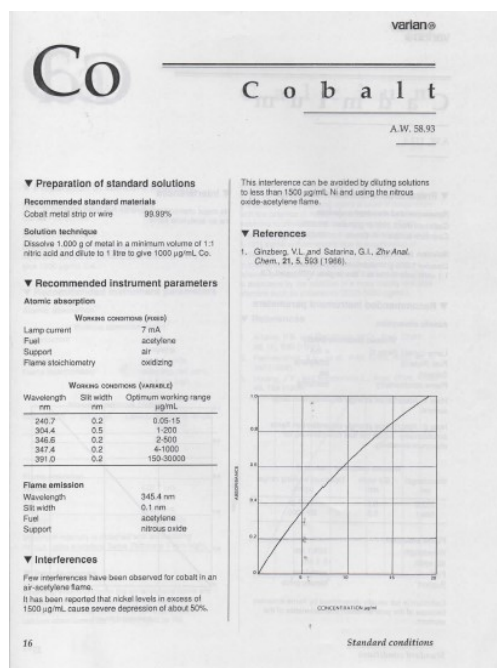


Figura XXII Ficha Técnica Cobalto

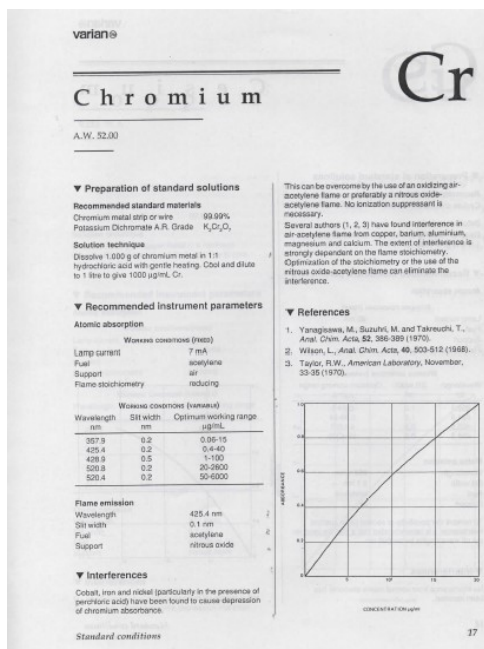


Figura XXIII Ficha Técnica Cromo

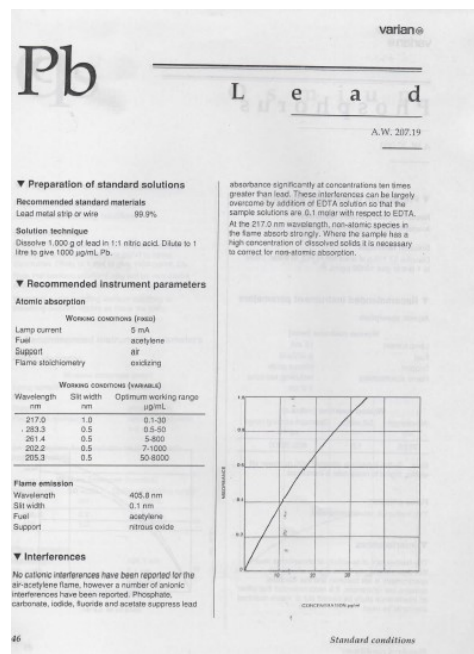


Figura XXIV Ficha Técnica Plomo

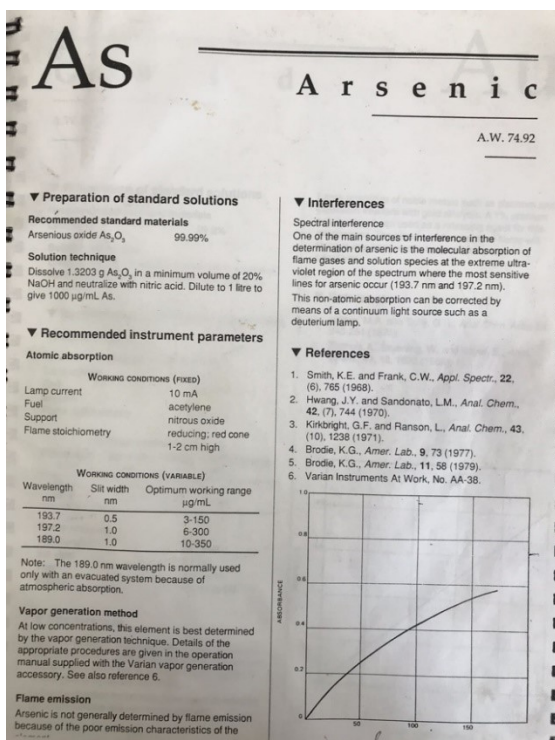


Figura XXVFicha Técnica Arsénico

14.4 Anexo 4. Cronograma y Presupuesto (Adjunto)