



**Cuantificación de metales pesados en cultivo de *Spinacia oleracea* L. (Espinaca)
cultivadas en Sibaté, Cundinamarca.**

Natalia Moreno Gutierrez
Erica Juliana Suarez Rodriguez

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental

Bogotá, 2020

**Cuantificación de metales pesados en cultivo de *Spinacia oleracea* L. (Espinaca)
cultivadas en Sibaté, Cundinamarca.**

Natalia Moreno Gutierrez
Erica Juliana Suarez Rodriguez

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

Director (a):
Oscar Eduardo Rodriguez 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
202

Nota de Salvedad de Responsabilidad Institucional

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

(Dedicatoria)

Principalmente a mi mamá Adriana y a mi abuelita Aliria por ser un apoyo para mí a lo largo de la carrera, por ser las mujeres que diariamente me motivan ser una mejor persona y a cumplir cualquier reto que me proponga.

Natalia Moreno Gutierrez

A Dios y a la virgen por permitir a mis padres acompañarme y apoyarme a culminar esta etapa de mi vida, a mi padre Cesar por enseñarme a amar la naturaleza, mi madre María por siempre darme su amor y apoyo incondicional a lo largo de mi vida y mi prima Paola por enseñarme que debo ser mejor cada día y por las palabras de aliento que me ayudaron a culminar mi carrera.

Erica Juliana Suarez Rodriguez

Agradecimientos

Agradecemos al director de esta investigación por el apoyo que nos brindó a pesar de las dificultades que se presentaron.

De igual manera agradecemos a la Clínica Juan N. Corpas, la Pontificia Universidad Javeriana Y Universidad EAN.

Tabla de contenido

1. Introducción	9
2. Planteamiento del problema	9
3. Hipótesis.....	10
3.1. Hipótesis nula	10
3.2. Hipótesis alternativa	11
3.3. Preguntas de investigación	11
4. Justificación.....	11
5. Objetivos	12
5.1. Objetivo General	12
5.2. Objetivos específicos.....	12
6. Marcos de referencia	12
6.1. Estado del arte	12
6.2. Marco teórico y conceptual	14
6.3. Marco normativo	25
6.4. Marco geográfico.....	26
6.5. Marco institucional	30
6.6. Marco metodológico.....	31
7. Metodología	33
7.1. Métodos.....	33
7.2. Metodología experimental.....	38
8. Resultados	42
9. Análisis y discusión de resultados.....	43
10. Conclusiones	51
11. Recomendaciones.....	52
12. Bibliografía.....	53
13. Anexos.....	62

Listado de Tablas

Tabla 1. Efectos del plomo en la salud.	21
Tabla 2. Clasificación taxonómica de <i>Spinacia Oleracea L</i>	23
Tabla 3. Normatividad aplicable a la investigación	25
Tabla 4. Variables, dimensiones, técnicas e instrumentos.	33

Tabla 5. Longitud de onda y corriente de la lámpara de los metales	34
Tabla 6. Calibración de equipo para plomo	35
Tabla 7. Plan de trabajo	37
Tabla 8. Resultados para el objetivo específico I.....	42
Tabla 9. Resultados para el objetivo específico II.....	43
Tabla 10. Resultados para el objetivo específico III	43
Tabla 11. Correlación de Spearman a dos colas	47

Listado de Figuras.

1. Mapa de la provincia de Soacha.....	27
2. Mapa del municipio de Sibaté	27
3. Distancia entre el predio y Embalse del Muña	29
4. Predio de muestreo	29
5. Marco institucional de la inocuidad alimentaria	30
6. Marco institucional de la investigación.....	30
7. Diseño metodológico	31
8. Curva Calibración Plomo	35
9. Corrección curva calibración Plomo	36
10. Flujograma general.....	38
11. Flujograma objetivo I	38
12. Plano toma de muestras	39
13. Pesaje muestra de suelo	40
14. Pesaje muestra raíz de espinaca.....	40
15. Digestión ácida en frío	41
16. Diagrama de la metodología objetivo específico III	42
17. Concentración de metales pesados en los órganos de la planta	44
18. Mapa de calor metales pesados en órganos de la planta	44
19. Gráfica de intervalos de concentración	45
20. Concentración de metales pesados en el suelo.....	46
21. Transferencia del metal a los diferentes órganos	46

Resumen

La ausencia de inocuidad alimentaria es un tema que genera preocupación, pues la calidad de los alimentos ha disminuido, debido a la presencia de contaminantes como los metales pesados en los alimentos, lo que puede generar problemas en la salud pública, por esta razón, se realiza la presente investigación, la cual tiene como objetivo establecer la acumulación de metales pesados como Cromo, Cadmio Cobalto, Arsénico, Plomo, Níquel y Cobre en muestras de *Spinacia oleracea* cultivada en el municipio de Sibaté, Cundinamarca. Las muestras se colectaron en un predio ubicado a 350 metros del Embalse del Muña. Con el fin de conocer la concentración de metales pesados en los órganos de la espinaca las muestras colectadas son pesadas y llevadas a digestión ácida en frío con HCl (Ácido Clorhídrico) y HNO₃ (Ácido Nítrico) durante 25 días, pasado el tiempo se filtran y aforan las muestras con agua tipo T1. Haciendo uso de los equipos de absorción atómica VARIAN AA-140 y SHIMADZU AA-7000, se determina la concentración de los metales en las muestras. Los resultados obtenidos evidencian que los metales con mayor concentración y transferencia en la espinaca son el Pb, Cr y Co, siendo la raíz y las hojas los órganos con la mayor (7,084 ppm) y menor (5,335 ppm) concentración total de metales. Adicionalmente la concentración del Cr, Pb y As en el tallo y hoja de la espinaca sobrepasan los límites máximos establecidos por la normatividad seleccionada.

Palabras clave: Metales pesados, salud, seguridad alimentaria, contaminación de alimentos, Espinaca.

Abstract

The absence of food safety is an issue that raises concern, since the quality of food has decreased, due to the presence of contaminants such as heavy metals in food, which can generate problems in public health, for this reason, carries out the present investigation, which aims to establish the accumulation of heavy metals such as Chromium, Cadmium Cobalt, Arsenic, Lead, Nickel and Copper in samples of *Spinacia oleracea* cultivated in the municipality of Sibaté, Cundinamarca. The samples were collected in a property located 350 meters from the Muña Reservoir. In order to know the concentration of heavy metals in the spinach organs, the collected samples are weighed and taken to cold acid digestion with HCl (Hydrochloric Acid) and HNO₃ (Nitric Acid) for 25 days, after time they are filtered and make up the samples with water type T1. Using the VARIAN-AA140 and SHIMADZU AA-7000 atomic absorption equipment, the concentration of metals in the samples is determined. The results obtained show that the metals with the highest concentration and transfer in spinach are Pb, Cr and Co, with the root and leaves being the organs with the highest (7,084 ppm) and lowest (5,335 ppm) total concentration of metals. Additionally, the concentration of Cr, Pb and As in the stem and leaf of spinach exceed the maximum limits established by the selected regulations.

Keywords: Heavy metals, health, food safety, Food contamination, Spinach.

1. Introducción

El municipio de Sibaté, ubicado en el departamento de Cundinamarca, a una altura de 2.700 m.s.n.m, con área de 125.6 km², de los cuales 120.268 km² corresponden al total del área rural. Dónde 54 km² de suelo con aptitud agrícola, están ocupados por 2.500 familias dedicadas a la agricultura especialmente a la siembra de cultivos como papa, arveja, maíz, lechuga, espinaca, fresa, mora, entre otros (Jaller R, 2010). Cabe recalcar que, debido a la cercanía de este municipio con la capital del país, se está presentando un crecimiento industrial en el municipio de Sibaté en el municipio de Sibaté, se encuentra ubicado el Embalse del Muña, cuerpo de agua que recolecta las aguas provenientes de la cuenca alta y media del río Bogotá, las cuales transportan una cantidad elevada de contaminantes (Funeme Mayoral, 2017), los cuales se transfieren a los suelos de las áreas cercanas del Embalse.

La espinaca es una hortaliza que se caracteriza por poseer contenido elevado de agua, bajo nivel de carbohidratos y grasas, y gran cantidad de vitaminas (A y C especialmente) y minerales (como fósforo, calcio, hierro y potasio. Para el año 2013 según el perfil nacional de consumo de frutas y verduras la espinaca es consumida por el 3.1% de la población referenciada a nivel nacional con un rango de consumo entre 10,0 a 23,0 g/día. Siendo el departamento de Cundinamarca el mayor productor de espinaca en el país, para el año 2013 presentó una producción de 7.074 toneladas (Fao & MinSalud, 2013)

Los metales pesados son perjudiciales, aunque muchos son esenciales para la salud y en muchos casos su exceso o deficiencia puede generar problemas de salud. Cabe recalcar que estos metales no pueden ser degradados o destruidos, por lo que poseen la capacidad de acumularse en la cadena trófica (suelo, agua, plantas, semillas y forrajes). El arsénico se encuentra presente en pesticidas, fertilizantes y de forma natural se puede encontrar en los suelos, rocas y sedimentos; el Cromo por otro lado es usado en la industria de cueros, la fabricación del papel y en las editoriales, ambos metales están clasificados en el grupo I de sustancias cancerígenas (Ramírez, 2013). El Cadmio, Cobalto está presente en fertilizantes fosfatados, y como fuente natural está la actividad volcánica, resaltando que los suelos de Sibaté se formaron por la descomposición de material de origen volcánico (World Health Organization, 2019; Linhares et al., 2019). El cobre es uno de los elementos más usados en la industria, y se puede encontrar en alimentos para animales como pesticidas (Londoño Franco, Londoño Muñoz & Muñoz Garcia, 2016). El Níquel por lo general, es absorbido principalmente por los sedimentos o partículas del suelo y, por tanto, se inmovilizan, pudiendo captarse por las plantas allí cultivadas (Olivares Arias et al., 2014). El plomo es un metal que se encuentra en los suelos de forma natural En el suelo de terrenos no cultivados se han encontrado en los suelos de forma natural en terrenos cultivados puede llegar a encontrarse por encima de 360 mg Pb/Kg y en el aire de zonas urbanas las cantidades de plomo están comprendidas entre 1 y 3 µg Pb/m³ (Rubio et al., 2004).

. En base a lo anterior surge la necesidad de indagar acerca del estado de los cultivos de *Spinacia oleracea L* (Espinaca) en el municipio de Sibaté, por lo cual el presente trabajo pretende conocer la concentración de metales como Arsénico, Cadmio, Cobalto, Cobre, Cromo, Níquel y Plomo, que son transferidos del suelo a los órganos de *Spinacia oleracea L*. (Espinaca).

2. Planteamiento del problema.

En el año 1931 se inició la construcción del Embalse del Muña con el fin de almacenar los caudales provenientes de los ríos aguas claras y Muña, adicionalmente se quería producir energía. Por lo que para el año 1967 la empresa de energía de Bogotá (EEB) decide iniciar el bombeo de

las aguas del río Bogotá al embalse, esto para incrementar su caudal y a su vez la producción de energía, a partir de esta fecha las características físicas y químicas del embalse empezaron a sufrir un deterioro, debido al almacenamiento de las aguas provenientes de la cuenca alta del Río Bogotá y la cuenca media (Funeme Mayoral, 2017). La cuenca media está comprendida por tres grandes afluentes que atraviesan la ciudad de Bogotá: el río Salitre se une en la calle 80 con el río Bogotá, el río Fucha se une en la calle 13 con el río Bogotá y el río Tunjuelo se une en Soacha con el río Bogotá, además se tiene la unión con el agua del canal de Torca, algunos de los humedales en el distrito capital y los lixiviados provenientes del relleno sanitario Doña Juana. Cada uno de estos cuerpos de agua aporta a diario toneladas de materiales suspendidos, sedimentos, residuos sólidos, microorganismos patógenos, metales pesados, etc. Por lo que se considera que la cuenca media es la zona que más contaminantes aporta al Embalse del Muña (Funeme Mayoral, 2017).

Con el fin de cubrir la necesidad de brindar alimentos a la población de la capital y sus alrededores, causada por el crecimiento poblacional, muchos de los predios ubicados en zonas aledañas al embalse del Muña se han destinado a la agricultura, considerando como beneficio, su cercanía con al embalse para tomar aguas que serán usadas para el riego de cultivos como la espinaca. El uso de estos efluentes contaminados para riego y la cercanía de los predios con los mismos incrementa la contaminación de los suelos, donde las raíces de las plantas de espinaca toman los nutrientes necesarios para crecer, dando ingreso de contaminantes a los alimentos.

Según un estudio realizado en Bogotá a personas entre los 15 y 39 años, la espinaca tiene un consumo de 59,2% encontrándose en una de las hortalizas más consumidas por semana en el centro del país (Galindo, 2015), esto se debe a que la *Spinacia oleracea L.* es rica en fibra y antioxidantes, contiene vitaminas A, C y E, minerales de importancia nutricional como calcio, hierro y potasio. Dicha hortaliza es producida en los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Antioquia, Santander y Norte de Santander. En el departamento de Cundinamarca, se cultiva específicamente en los municipios de Chía, Cota y Sibaté (Jiménez et al., 2010). Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, se estableció que la presente investigación se desarrollaría entorno al Municipio de Sibaté, debido a que en este municipio se encuentra ubicado el Embalse del Muña

En los últimos años se ha incrementado la preocupación de las organizaciones encargadas de la salud y la calidad de los alimentos a nivel mundial, pues la ingesta es una de las principales vías de acceso de los metales pesados al cuerpo humano, dando lugar a una mayor bioacumulación en los diferentes órganos del cuerpo humano (Reyes, Vergara, Torres, Díaz, & González, 2016), esto da lugar a que se presente un mayor y más rápido deterioro de la salud, donde las poblaciones de escasos recursos son las más vulnerables, generando que las entidades de salud pública deban asumir mayores gastos en tratamientos que prolonguen la vida de la población afectada, además de considerar el caso de concentraciones muy elevadas en poblaciones jóvenes, se presentará una disminución en la población productiva del país, generando un efecto negativo en la economía del país. Cabe recalcar que esta problemática se puede agravar en el caso de la espinaca cultivada en Sibaté, debido al potencial de acumulación de metales que esta planta presenta (Chaturvedi, Favas, Pratas, Varun, & Paul, 2019).

3. Hipótesis.

3.1. Hipótesis nula (H_0)

La planta de *Spinacia oleracea L* (Espinaca), especie cultivada en el municipio de Sibaté, Cundinamarca, contiene elevadas concentraciones (ppm) de los metales pesados Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cobalto (Co), Cobre, (Cu), Cromo (Cr), Níquel (Ni) y Plomo (Pb), superando los

valores permisibles establecidos por las normas nacionales e internacionales.

3.2. Hipótesis alternativa (Ha)

La planta de *Spinacia oleracea* L (Espinaca), especie cultivada en el municipio de Sibaté, Cundinamarca, no contiene elevadas concentraciones (ppm) de los metales pesados Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cobalto (Co), Cobre, (Cu), Cromo (Cr), Níquel (Ni) y Plomo (Pb), cumpliendo los rangos permisibles establecidos por las normas nacionales e internacionales.

3.3. Preguntas de investigación.

¿Qué concentración de metales pesados (Cr, Ni, Cu, Pb, As, Co y Cd) se encuentra presente en los órganos de la planta de *Spinacia oleracea* L (Espinaca) cultivada en el municipio de Sibaté?
¿Las concentraciones de metales pesados bajo estudio superan los niveles permisibles en la normativa nacional e internacional?

4. Justificación

La presente investigación se realiza para evaluar la concentración de metales pesados en la planta de espinaca y así establecer posibles riesgos en la salud de los colombianos. Para ello es necesario alinear nuestra investigación con 3 aspectos (social, económico y ecológico).

En el aspecto social cabe recalcar que la inocuidad alimentaria es una problemática mundial es responsabilidad de todas las entidades públicas y agricultores brindar un alimento con los requerimientos de higiene necesarios que garantice la calidad de vida de las personas que los consumen (Ministerio de Salud, 2020c). Pues el consumo de alimentos no inocuos puede traer problemas graves a la salud de las personas, según el Instituto Nacional de salud & Observatorio Nacional de salud (2018), para el año 2016 se atribuyeron 17.549 muertes, lo cual es cerca del 8% total de la mortalidad anual en Colombia, para dicho año. Estas muertes están ocasionadas principalmente por 7 enfermedades de alta ocurrencia como lo son la enfermedad isquémica del corazón, accidentes cerebrovasculares, enfermedad pulmonar obstructiva (EPOC), infección respiratoria aguda, cáncer de pulmón, enfermedad diarreica aguda (EDA) y enfermedad renal crónica, algunas de estas enfermedades se presentan por la prolongada exposición a metales pesados que pueden estar contenidos en la planta de espinaca.

Económicamente, la presente investigación nos permitirá conocer la calidad de la planta de espinaca cultivada en el municipio de Sibaté, y establecer su inocuidad, con el fin de que este cultivo pueda ser competitivo con otras zonas del país e internacionalmente y así generar mayores ingresos para los agricultores colombianos.

En cuanto al aspecto ecológico, es necesario resaltar que con el paso de los años se ha visto en la necesidad de analizar el ciclo de vida de todos los alimentos desde el momento en que se cultiva hasta el consumo de estos, puesto que muchas veces los alimentos entran en contacto con factores ambientales como el agua y suelo, este último factor es la principal fuente de acumulación de contaminantes, que llegan por el contacto con productos agrícolas, riego con aguas contaminadas, entre otras actividades antrópicas, esta acumulación se debe a las propiedades físico químicas que caracterizan los diferentes tipos de suelos. (Ministerio de Salud y Protección Social, 2013).

El uso del agua del Embalse del Muña para riego y la transferencia de moléculas de agua y contaminantes en los suelos, afecta las propiedades nutricionales de la planta y disminuye su productividad. Afectando económicamente a los agricultores quienes podrían presentar pérdidas

por los bajos precios de la espinaca en el mercado, dando lugar así a incrementar los niveles de pobreza en el país.

Es importante mencionar que para realizar esta investigación fue seleccionada la especie *Spinacia oleracea L* (espinaca), debido a que este es un alimento muy consumido por los colombianos especialmente para la elaboración de platos típicos colombianos y ensaladas, adicionalmente fue seleccionado el municipio de Sibaté, Cundinamarca (Jiménez et al., 2010), donde se ubica el Embalse del Muña, en el cual se recolectan las aguas provenientes de la cuenca alta y media del Río Bogotá, de igual manera Sibaté es un importante productor agrícola que abastece de alimentos las principales plazas de mercado en Bogotá (Combariza Bayona, 2009).

Las dimensiones relacionadas de este proyecto con el perfil de un Ingeniero (a) Ambiental, son los aspectos social, económico y ecológico, estos aspectos se encuentran alineados algunos objetivos de desarrollo sostenible (ODS), para nuestro caso específicamente con el 2. hambre cero, 3. salud y bienestar y el objetivo 12. producción y consumo responsable.

5. Objetivos

5.1 Objetivo General

Establecer la acumulación de metales pesados (Cr, Ni, Cu, Pb, As, Co y Cd) de *Spinacia oleracea L* (Espinaca) cultivada en el municipio de Sibaté, Cundinamarca.

5.2 Objetivos específicos

- Determinar la concentración de metales pesados (As, Cd, Cr, Co, Cu, Ni y Pb), acumulados en los órganos (tallo, hoja y raíz) de *Spinacia oleracea L*, cultivada en el municipio de Sibaté, Cundinamarca mediante la técnica de absorción atómica.
- Analizar la transferencia de metales pesados del suelo a los diferentes órganos de la planta *Spinacia oleracea L* (Espinaca).
- Comparar la normativa vigente Nacional e Internacional para material fresco frente a la concentración de los metales (As, Cd, Cr, Co, Cu, Ni y Pb), presentes en *Spinacia oleracea L* (espinaca).

6. Marcos de referencia.

6.1. Estado del arte.

En busca de construir una base sólida para la presente investigación, el equipo de investigación se dio a la tarea de revisar la literatura existente de los últimos cinco años respecto a la cuantificación de metales pesados en diferentes cultivos y sus suelos, ubicados principalmente en Colombia. Dentro de la revisión se encontraron diferentes tesis y artículos que enriquecerán la presente investigación; a continuación, se enlistan los principales resultados obtenidos, iniciando con los documentos del año 2015, hasta llegar a los documentos de 2019.

Para el año 2015, se encontró una tesis titulada “*CUANTIFICACIÓN DE CADMIO EN CACAO PROVENIENTE DEL OCCIDENTE DE BOYACÁ POR LA TECNICA ANALITICA DE VOLTAMPEROMETRÍA*” (Bernal, 2015), donde se tomaron muestras de las especies más abundantes en las zonas para ser analizadas mediante la muestra de voltamperometría. La técnica elegida para el pretratamiento de la muestra es similar al que se realizará para esta investigación, y se obtuvo como resultado que el cacao proveniente del occidente de Boyacá excede los límites

permisibles de cadmio, según la FAO/OMS.

Un artículo de científico realizado en el año 2015, titulado “*Monitoring of Growth, Yield, Biomass and Heavy Metals Accumulation in Spinach Grown under Different Irrigation Sources*”, (Naz, Akbar & Akthar, 2015) en la cual se estudió la acumulación de metales pesados en la espinaca bajo diferentes fuentes de riego, los cultivos evaluados en esta tesis fueron principalmente los industriales, y se evalúan las siguientes fuentes de riego: un canal, alcantarillado y agua de un pozo. Los resultados obtenidos en este estudio es que el uso de aguas residuales es la que aporta mayor cantidad de metales pesados a la espinaca, provocando que no sean aptas para el consumo humano, es importante aclarar que dicho estudio se llevó a cabo en el país de Pakistán.

En segundo lugar, está el artículo titulado “CUANTIFICACIÓN VOLTAMÉTRICA DE PLOMO Y CADMIO EN PAPA FRESCA” (Moreno Nariño, García Colmenares & Chaparro Acuña, 2016), el cual tuvo lugar en el municipio de Tunja, Boyacá. Para este caso, se utilizó la metodología de voltametría de onda cuadrada, en donde se recolectaron 4 muestras de papa por mes, obtenidas de la central de abastos de Tunja, Boyacá. El principal resultado es que la papa que se compra en la Central de Abastos excede los límites permitidos por el *Codex Alimentarius*, y está contaminada principalmente por Cadmio.

En la tesis titulada “DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE PLOMO (II) PRESENTE EN FRESAS FRESCAS PROVENIENTES DE LA VEREDA LA UNIÓN EN EL MUNICIPIO DE SIBATÉ EN CUNDINAMARCA – COLOMBIA, POR MEDIO DE VOLTAMETRÍA DE ONDA CUADRADA (SWV)” (Huertas, 2018), donde se demuestra que la fresa cultivada en la vereda La Unión, en el municipio de Sibaté, Cundinamarca, contiene niveles de Cadmio que excede los límites permisibles que se plantean en la normatividad nacional.

En tercer lugar, encontramos el artículo titulado “CONTAMINATION OF STAPLE CROPS BY HEAVY METALS IN SIBATÉ, COLOMBIA” (Lizarazo et al., 2020), en la cual se plantea una metodología similar a la que se trabajará en esta investigación. Los principales resultados obtenidos están ligados con la zanahoria, perejil y alcachofas, se menciona que estos alimentos exceden los límites permisibles, tanto nacionales como internacionales, concluyendo que su consumo podría traer problemas a la salud.

Adicionalmente, se encontró un artículo titulado “ACUMULACIÓN DE METALES PESADOS EN EL SUELO Y PLANTAS DE CUATRO CULTIVOS HORTÍCOLAS, REGADOS CON AGUA DEL RÍO BOGOTÁ” (Miranda et al, 2019), en el cual se estudia la lechuga, apio, brócoli y repollo, y se busca determinar la cuantificación de metales como cadmio, plomo, arsénico y mercurio; es importante mencionar que las muestras se tomaron en el municipio de Soacha, Cundinamarca, un municipio muy cercano al lugar de estudio de la presente tesis. Para este caso, se obtuvo que, para las 4 hortalizas los niveles de plomo exceden los permitido por la Unión Europea, y a su vez, la lechuga fue la especie que más tuvo presencia de los metales pesados estudiados.

En el año 2019, Rai, Lee, Zhang, Tsang, & Kim (2019), en el artículo titulado “HEAVY METALS IN FOOD CROPS: HEALTH RISKS, FATE, MECHANISMS, AND MANAGEMENT” se evalúa el comportamiento y rutas de transporte de diversos metales y metaloides (Hg, As, Pb, Cd y Cr) en los sistemas suelo, agua y en los cultivos, adicionalmente se evalúa el posible riesgo generado a la salud humana por las acumulación de estos metales en los sistemas mencionados. En base a los resultados obtenidos se proponen diversas estrategias de

manejo para recuperar la calidad de los suelos y cultivos haciendo uso de mecanismos sustentables.

6.2. Marco teórico y conceptual.

Para la definición de las teorías y los conceptos mencionados a continuación se realizó una revisión bibliográfica en base de datos, en la cual se usaron algunos filtros para definir los documentos que se incluirían en el marco teórico y conceptual, se seleccionaron como idiomas de preferencia el español e inglés, los documentos publicados en revistas, publicaciones académicas y libros electrónicos.

El marco teórico está comprendido según lo mencionado por el ministerio de salud donde la salud pública es la teoría global y comprende 10 aspectos dentro de los cuales se encuentra la salud ambiental; la cual menciona que se debe brindar alimentos de calidad a los colombianos, teoría que para nuestro caso es inocuidad alimentaria. Lo que nos lleva a nuestra teoría de investigación ‘contaminación de alimentos por metales pesados’, siendo estos los contaminantes en estudio en la planta de *Spinacia oleracea L.* (espinaca). Seguidos de las teorías encontramos los conceptos que las complementan[.].

6.2.1. Salud pública.

La salud pública es definida como la ciencia que protege y mejora la salud, previene enfermedades, con el fin de prolongar la vida, fomentar la salud y la eficiencia física y mental (Figueroa, 2012). En Colombia la salud pública se rige de acuerdo con la Ley 1122 de 2007, donde se indica que la salud pública está constituida por acciones dirigidas de manera individual y colectiva, cada una de las acciones se realizan bajo la vigilancia del estado y están en busca de la participación responsable de todos los actores de la comunidad (Ministerio de Salud, 2020b).

Según la ley 1122 (2007), la salud pública debe realizar supervisión de algunas áreas, con el fin de garantizar la calidad de productos que se disponen en el mercado para uso y consumo de los habitantes del territorio colombiano. La supervisión es realizada por el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos – INVIMA, quien juega el papel de autoridad sanitaria nacional, y tiene varias responsabilidades como “La competencia exclusiva de la inspección, vigilancia y control de la producción y procesamiento de alimentos [...]”, según lo estipula el art. 34. numeral b.

La salud pública en Colombia se compone por 10 temáticas: Estilos de vida saludable, gestión de la salud pública, promoción y prevención, vigilancia en salud pública, salud ambiental, observatorio de VIH/SIDA, centro nacional de enlace, encuesta nacional de salud pública, plan anti-pandemia influenza y boletín epidemiológico semanal (Ministerio de Salud, 2020b). Para nuestro caso se estudia más a fondo la salud ambiental.

6.2.2. Salud ambiental.

La salud ambiental hace parte de la salud pública, según la OMS (2020) la salud ambiental está relacionada con factores físicos, químicos y biológicos relacionados con el entorno en que se relacionan las comunidades y que podría incidir en la salud, busca la prevención de enfermedades, la creación de ambientes propicios para la salud, adicionalmente explora las prácticas de uso, manipulación, apropiación, y explotación de los componentes ambientales y los posibles efectos que generan en la salud humana. Por lo tanto, excluye cualquier factor no relacionado con el ambiente.

En el año 2011 se formuló una Política Distrital de Salud Ambiental para Bogotá D.C. 2011-2023, adoptada por el Decreto 596 de 2011, el cual considera a la salud ambiental como un campo de acción de la salud pública, enfocado en la interacción entre el ambiente y la salud, y como las condiciones ambientales tienen efectos sobre la calidad de vida y salud, individual y colectiva. En este decreto en el artículo 6. Establece 8 líneas de intervención dentro de las cuales se contempla la línea de alimentos sanos y seguros, donde se busca brindar a la población alimentos sanos, seguros e inocuos en las diferentes etapas de la cadena agroalimentaria (producción, manejo, manipulación y consumo).

6.2.3. Inocuidad Alimentaria.

La inocuidad de los alimentos es la ausencia -niveles seguros y/o aceptables- de peligro en los alimentos que puedan llegar a afectar la salud de los consumidores. Los peligros transmitidos por los alimentos pueden ser de tipo microbiológico, químico y/o, aunque con frecuencia no son visibles a simple vista como ocurre en el caso de bacterias, virus, residuos de pesticidas, metales pesados, entre otros (ONU, 2020). La inocuidad de los alimentos también se puede definir como el conjunto de condiciones y medidas necesarias durante la producción, almacenamiento, distribución y preparación de alimentos, con el fin de asegurar que una vez ingeridos los alimentos no representen un riesgo para la salud, de quien los consume (Ministerio de Salud y Protección Social, 2019).

En los objetivos propuestos de desarrollo sostenible se encuentra el hambre cero, mediante el cual se busca que los alimentos distribuidos en las poblaciones sean inocuos, para garantizar la salud y erradicar el hambre. “No hay seguridad alimentaria sin inocuidad de los alimentos y [...], cualquier incidente adverso relativo a la inocuidad de los alimentos puede afectar negativamente a la salud pública, el comercio y la economía a escala mundial”.(Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y agricultura & Organización Mundial de la Salud, 2019) Según la FAO citando al Instituto de Nutrición para Centroamérica y Panamá (INCAP) se presenta seguridad alimentaria cuando “todas” las personas cuentan con un acceso físico y económico a una cantidad de alimentos suficientes con una calidad adecuada, es decir inocuos y nutritivos, según las preferencias alimentarias de la población, lo anterior con el fin de llevar una vida sana (Programa Especial para la Seguridad Alimentaria, 2011)

El consumo de alimentos contaminados por metales pesados presenta riesgos para la salud humana, puesto que los metales pueden acumularse en los huesos o tejidos grasos de los seres vivos a través de la ingesta dietética, lo que conduce a un deterioro de las defensas inmunológicas. (Rai et al., 2019)

Es necesario considerar que la inocuidad no se puede asegurar en el caso de presentarse contaminación de los suelos con metales pesados, pues como lo menciona Peralta-Videa, Lopez, Narayan, Saupe, & Gardea-Torresdey, (2009) en su trabajo *The biochemistry of environmental heavy metal uptake by plants: Implications for the food chain*, menciona que las plantas tienen la capacidad de absorber varios elementos presentes en el suelo, algunos de los cuales cumplen con funciones biológicas conocidas, mientras otros pueden ser tóxicos a bajas concentraciones. Considerando que las plantas constituyen la base de la cadena alimentaria, se han planteado muchas preocupaciones sobre la posibilidad de que se transporten concentraciones tóxicas de ciertos elementos desde las plantas a los estratos superiores de la cadena alimentaria. Aunque es necesario considerar que los niveles de acumulación de los metales difieren para cada una de las especies.

6.2.4. Contaminación de alimentos.

La salud en gran parte depende de la cantidad de los alimentos que son ingeridos. Todos los días es necesario consumir alimentos que favorezcan cada una de las acciones que realizamos como lo es el crecimiento y desarrollo, la respiración, el movimiento, reproducción, esto con el fin de conservar un buen estado de salud. Es necesario considerar que la calidad y cantidad de los alimentos que se ingieren a diario es vital para el organismo por ello es necesario que estos alimentos se encuentren en una adecuada calidad para ser consumidos, considerando que la presencia de sustancias dañinas en los alimentos, son un claro vehículo de transmisión directa al organismo de organismos patógenos y toxinas (Burgos, 2019).

El tema de la seguridad alimentaria en Colombia varía entre las clases sociales, según lo expuestos por Epstein (2017) en su trabajo llamado Seguridad Alimentaria el “43% de los colombianos no tiene seguridad alimentaria” (p.4), lo que indica que casi la mitad de la población de Colombia no tiene los recursos necesarios para acceder a una cantidad suficiente de alimentos y de una considerable calidad.

La calidad de los alimentos se ve afectada por factores como la irrigación de los cultivos con aguas contaminadas, uso de herbicidas, pesticidas y en algunos casos se presenta la transferencia de los contaminantes desde el suelo a las raíces, que a su vez transportan estas sustancias a los tejidos vegetales o se presenta la deposición directa de los contaminantes sobre las superficies de las plantas (Rai, Lee, Zhang, Tsang, & Kim, 2019).

La contaminación de los alimentos para nuestro caso va aliada con los metales pesados siendo estos los contaminantes en estudio, a continuación, se hace una caracterización de cada uno de los metales pesados evaluados en la presente investigación y las posibles enfermedades que se generan por la ingesta de estos.

6.2.5. Metales pesados.

Según Londoño Franco, Londoño Muñoz & Muñoz García. (2016), un metal pesado es:

Un elemento químico con alta densidad mayor a 4 g/cm³, masa y peso atómico por encima de 20, y son tóxicos en concentraciones bajas. Algunos elementos son: aluminio (Al), cobalto (Co), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), cadmio (Cd), mercurio (Hg), plomo (Pb), arsénico (As), cromo (Cr), níquel (Ni), plata (Ag), selenio (Se), talio (Tl), vanadio (Va), oro (Au) y zinc (Zn). (p.147)

Debido a las características tóxicas de los metales pesados, su ingesta presenta elevados riesgos en la salud de los seres vivos y genera afectaciones de los ciclos biogeoquímicos, los cuales combinados con otras variables dan lugar a una mayor bioacumulación y/o biodisponibilidad de los metales transfiriéndose de un medio a otro (Colmenares & Torres, 2012), cabe recalcar que algunos de estos metales hacen parte de los micronutrientes esenciales para el ser humano tales como el:

Cobalto (Co), cromo (Cr), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), molibdeno (Mo), selenio (Se), vanadio (V) y zinc (Zn), de los cuales se requieren en solo unos miligramos o microgramos por día y cuando pasan cierto umbral de concentración se vuelven tóxicos, tal es el caso del Se y Zn, que tienen límites muy próximos entre la dosis requerida y la tóxica. Por otro lado, se encuentran los macronutrientes, tales como calcio (Ca), cloro (Cl), magnesio (Mg), fósforo (P), potasio (K), sodio (Na) y azufre (S), son necesarios a 100 mg o más por día. Los metales pesados no esenciales o sin

función biológica conocida, cuya presencia en determinadas cantidades en los seres vivos lleva aparejadas disfunciones en los organismos, son: antimonio (Sb), arsénico (As), berilio (Be), cadmio (Cd), estroncio (Sr), mercurio (Hg), níquel (Ni), plomo (Pb) y titanio (Ti). (Rodríguez, 2017, p. 3376)

Los metales tratados en la presente investigación son el Arsénico, Cadmio, Cobalto, Cobre, Cromo, Níquel y Plomo; a continuación, se presentan las características de estos metales y su dinámica en relación con las afectaciones a la salud dado sus niveles de toxicidad.

6.2.5.1. Arsénico.

El Arsénico es un metaloide cristalino de color gris representado por el símbolo As, con número atómico 33, y de peso atómico 74.92, caracterizado por poseer una baja conductividad (Ramírez, 2013). El arsénico es un elemento natural que se encuentra en la corteza terrestre, aunque cuando se encuentra en forma inorgánica es un elemento muy tóxico (Organización Mundial de la Salud, 2018). A pesar de ser un metaloide disponible en el medio natural es uno de los más tóxicos (Zuzolo et al., 2020).

El arsénico puede estar presente en cuerpos de agua contaminados, alimentos, suelo, polvo, algunos medicamentos y muchas otras actividades humanas (Ramírez, 2013), por lo que el As puede ingresar al cuerpo humano por exposición cutánea, consumo de alimentos y agua potable contaminada y por inhalación (Zuzolo et al., 2020). Cabe aclarar que no se han realizado muchos estudios sobre los efectos del arsénico en bajas concentraciones presentes en los alimentos, pues gran parte de los estudios se basa en poblaciones que consumen agua contaminada y poblaciones expuestas a altas dosis (Medina-Pizzali, Robles, Mendoza & Torres, 2018).

Aun así Mohammed, Jayasinghe, Chandana, Jayasumana & De Silva, (2015) mencionan que en caso de encontrarse expuesto de bajos a moderados niveles de Arsénico (10 - 300 µg/L) a causa del consumo de agua, se pueden presentar graves enfermedades como la neuropatía, que en algunos casos puede presentar entumecimiento y dolor, generalmente en la planta de los pies y manos, otra consecuencia es el deterioro de las funciones neurológicas como el aprendizaje, la memoria a corto plazo, la concentración; leve alteración de la velocidad psicomotora y de los procesos de atención; el deterioro del aprendizaje verbal y la memoria se ve gravemente alterados (Vahidnia, Van Der Voet & De Wolff, 2007). El sistema nervioso a su vez puede desarrollar enfermedades autoinmunes como la diabetes, aterosclerosis e incluso enfermedades inmunosupresoras como cáncer de piel (Banerjee et al., 2009). También se presentan afecciones a nivel pulmonar como bronquiectasias, bronquitis, enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), reducción de la función pulmonar, se presenta un riesgo 13 veces mayor de presentar tos (Parvez et al, 2010). A nivel cardiovascular se pueden presentar afectaciones a la presión arterial, lesión miocárdica, arritmias cardíacas y miocardiopatía (Mohammed et al., 2015).

6.2.5.2. Cadmio.

El cadmio es un metal de color blanco ligeramente azulado con peso atómico 112 y densidad relativa 8 (Londoño Franco et al., 2016), este elemento se encuentra distribuido por toda la corteza terrestre y se asocia a materiales como el Zinc, Plomo y Cobre, puesto que estos elementos no presentan una fácil oxidación y tienen una larga vida media (Colmenares & Torres, 2012).

Los suelos tienen la capacidad de acumular metales pesados, como es el caso del cadmio, el cual puede ser fácilmente absorbido por algunos cultivos, especialmente por los vegetales (Buha et al.,

2019), alimentos que son esenciales en la canasta familiar colombiana. Debido a lo anterior se puede decir que, la absorción del cadmio se presenta principalmente por ingestión e inhalación. Generando algunas afectaciones a nivel gastrointestinal, ya que el cadmio presenta una absorción escasa absorción del 5 al 8%, la cual se incrementa ligeramente en casos de dietas deficientes de calcio, hierro y dietas bajas en proteínas (Colmenares & Torres, 2012).

Es necesario aclarar que la severidad de la intoxicación se encuentra relacionada con las cantidades ingeridas, el tiempo de exposición y la vía de entrada del metal, para los casos en que se presenta una exposición crónica de Cd según Londoño Franco et al. (2016), se presenta

Anemia, disfunción renal, cálculos renales, osteoporosis, osteomalacia, trastornos respiratorios, hipertensión, trastornos nerviosos como cefalea, vértigo, alteración del sueño, temores, sudoración, paresia, contracciones musculares involuntarias; pérdida de peso y apetito, cáncer de próstata y pulmón (p. 148).

En caso de intoxicación aguda se puede presentar neumonitis, edema pulmonar, gastroenteritis, náuseas, vómito, dolor abdominal, diarrea, fallo renal y finalmente puede ocurrir aberraciones cromosómicas, efectos teratogénicos y congénitos (Londoño Franco et al, 2016).

Según la OMS (2019) la mayor acumulación de Cd se presenta en los riñones, acumulación que conduce a una disfunción tubular renal, “generando la excreción de proteínas de bajo peso molecular en la orina” (p. 3); otras consecuencias de la acumulación del Cd son alteraciones en el metabolismo y ablandamiento de los huesos.

6.2.5.3. Cobalto.

El Cobalto es un metal de color gris acero levemente magnético, con una densidad de 8.9 g/cm³ y una temperatura de fusión de 1495°C (Sierra, 2016. p, 33), este metal está presente en diversas fuentes naturales y/o antropogénicas y aunque no es un elemento volátil, en el momento en el que se libera a la atmósfera las partículas suelen absorberse rápidamente en el suelo, en caso de que este se tenga presencia de óxidos minerales, como hierro y manganeso, la capacidad de adsorción de Cobalto en suelo incrementa (Linhares et al., 2019).

Como resultados de diversos estudios se evidenció que los principales efectos por exposición al cobalto sobre la salud se presentan algunas molestias al tracto respiratorio, incluido el asma bronquial, la fibrosis intersticial difusa o más raramente alveolitis progresiva grave; se presentan algunos efectos cutáneos, como el eczema alérgico (Principalle et al., 2017), neumonitis por hipersensibilidad, neumonía intersticial, alteraciones de las hormonas tiroideas y policitemia (Junqué, Grimalt, Fernández-Somoano & Tardón. 2020).

6.2.5.4. Cobre.

El Cobre es un metal que tiene una elevada disponibilidad sobre la corteza terrestre, en muchos casos se presenta en forma de aleaciones con otros metales como Oro (Au), plata (Ag), Bismuto (Bi), Plomo (Pb), con sulfuros, sulfatos y otros elementos (Jaramillo, Llano Sánchez, & Villazón Amaris, 2006). Este metal aparece representado con el símbolo Cu en la tabla periódica, su número atómico es 29, al ser un metal de transición posee una elevada conductividad eléctrica, ductilidad y maleabilidad (Feoktistova & Clark Feoktistova, 2018). Estas propiedades permiten que el cobre se implemente en diversas actividades antrópicas como minería, construcción; elaboración de elementos decorativos, de construcción, musicales y medios de transporte (Londoño Franco et al.,

2016), de igual manera el Cu hace parte de las materias primas para la elaboración de pesticidas o fertilizantes, para la producción de hierro y acero (Zhou et al., 2018).

El Cobre hace parte de uno de los micronutrientes esenciales para los seres vivos, permitiendo la actividad metabólica de órganos tales como el hígado, cerebro, riñones y corazón (Feoktistova & Clark Feoktistova, 2018), permite al cuerpo realizar funciones de regulación en el metabolismo energético celular y la inmunidad innata (Luo et al., 2020). Adicionalmente este metal cumple funciones enzimáticas en el metabolismo tisular, permitiendo las interacciones de hierro que dan lugar a la síntesis de la hemoglobina, evitando la anemia (Silva Trejos, 2012). Sin embargo, es necesario considerar que este metal es esencial para los seres humanos en cantidades mínimas, se estima que el organismo de un ser humano adulto posee entre 50 y 120 mg de Cobre (Taboada Lugo, 2017).

Como es usual el consumo en exceso de los metales pesados, genera efectos tóxicos y peligrosos para la salud de los seres vivos. Para el caso del Cu, en su estado Cu^{2+} , tiene la propiedad de bioacumularse a través de la cadena alimentaria (Ince, Kaplan Ince & Onal, 2020). Cuando se acumulan grandes concentraciones en el cuerpo humano se pueden presentar enfermedades como el cáncer, enfermedades neurodegenerativas, envejecimiento celular (Feoktistova & Clark Feoktistova, 2018), daño capilar, enfermedades cardíacas, daño cerebral, irritación gastrointestinal (Ince et al., 2020), irritación y corrosión de las mucosas, malestar estomacal y úlceras, daño hepático y renal, irritación gastrointestinal y del sistema nervioso central que puede conllevar a depresión, posibles cambios necróticos en el hígado y riñón. En caso de presentarse intoxicación crónica se puede presentar la enfermedad de Wilson, que conduce a daño cerebral y hepático (Chowdhury & Saha, 2011).

6.2.5.5. Cromo.

El cromo es un elemento metálico, con número atómico 24 y peso molecular 51,996, caracterizado por poseer un color blanco plateado, brillante, con textura dura y quebradiza, que presenta resistencia a la corrosión. El cromo se encuentra presente en el organismo ya que es un oligoelemento indispensable para el metabolismo de la glucosa, colesterol y ácidos grasos (Cuberos, Rodríguez & Prieto, 2009). Es un metal que se encuentra altamente distribuido en la naturaleza en elementos como rocas, animales, plantas y suelo. Existen diversos estados del plomo distribuidos en la naturaleza como el Cromo (0) usado para la fabricación de acero, Cromo (III) y (VI) usados en colorantes y pigmentos, para el curtido de cueros y la preservación de madera (Molina, Aguilar & Cordovez, 2010)

El uso de este metal en las industrias da lugar a la contaminación del agua, generada por los vertimientos de aguas residuales que contienen elevados niveles de metales. Cabe recalcar que los ductos de las cañerías pueden ser considerados unas fuentes de liberación de Cr a los efluentes de agua, donde las partículas de Cromo son arrastradas e interactúan con algunos componentes presentes en el agua. (Molina et al. 2010).

El Cr en su forma hexavalente se considera un compuesto tóxico, las principales vías de absorción del Cr en el organismo, son la ingestión, el contacto dérmico y la inhalación. Los efectos nocivos del Cr pueden generar efectos no cancerígenos. En la piel y mucosas puede ejercer una acción corrosiva, producir úlceras cutáneas, penetrar tejidos subcutáneos hasta alcanzar posiblemente el hueso subyacente. En caso de inhalar vapores de Cr (VI) por largos periodos, se puede presentar ulceración indolora, epistaxis y perforación del tabique nasal, este efecto se

produce por depósito de partículas de Cr (VI) o pequeñas gotas de niebla en el tabique nasal, llegando a perforar el cartílago del tabique. También se presentan algunas afectaciones en el sistema renal, donde puede aparecer necrosis tubular renal. La inhalación de polvo y humos de dicromato puede generar la irritación del tracto respiratorio superior y una posterior sensibilización, llegando a generar rinitis crónica, bronquitis crónica y asma de origen ocupacional (Tellez, Carvajal Roxs & Gaitán, 2004).

6.2.5.6. Níquel.

El Níquel (Ni) es caracterizado por ser un metal duro, de color blanco-plateado, se encuentra distribuido en la corteza terrestre, principalmente en los suelos, es liberado por medio de los volcanes y por industrias generadoras de energía e incineradoras de residuos, las partículas emitidas se depositan en el suelo o pueden ser transportadas por corrientes de aire, la lluvia o la nieve, generalmente este metal puede adherirse a partículas muy pequeñas del suelo que contienen hierro o manganeso, aunque este proceso puede tardar más de un mes. Algunas condiciones del suelo, como la acidez, favorecen la movilización del níquel y facilitan la filtración del metal hacia los cuerpos de agua subterránea (Agencia de sustancias tóxicas y el registro de enfermedades, 2005).

Puesto que el Ni está presente en fuentes naturales, el ser humano se encuentra expuesto a ingerir el metal mediante diversas vías, como la ingestión de vegetales procedentes de suelos contaminados, alimentos como los vegetales y hortalizas pueden absorber altas cantidades de metales pesados cuando se riegan con aguas residuales y efluentes industriales (Olivares et al., 2014), otra vía, es la inhalación de vapores de Ni (Rodríguez, 2017). Es necesario recalcar que el tamaño de la partícula del Níquel es un factor determinante para su deposición en el cuerpo, según lo mencionado por Rizvi, Parveen, Khan & Naseem (2020), los compuestos solubles e insolubles de Níquel acceden a los pulmones por difusión o fagocitosis respectivamente, aunque estos compuestos insolubles permanecen mucho más tiempo en los pulmones, posteriormente este metal es transportado hacia el riñón, cerebro y páncreas, otros órganos del cuerpo donde se puede presentar una elevada concentración de Ni es en los huesos, pulmones, riñones, hígado, cerebro y glándulas endocrinas. Aunque el cuerpo no almacena grandes cantidades de Ni, ya que lo elimina mediante la orina, las heces, la bilis y el sudor (Duda-Chodak & Blaszczyk, 2008).

Cabe recalcar que los efectos agudos a la salud se presentan por exposición a altas concentraciones en un corto plazo, en estos casos se presentan síntomas como náuseas, vómitos, molestias abdominales, diarrea, trastornos visuales, dolor de cabeza, vértigo y tos (Duda-Chodak & Blaszczyk, 2008). Según lo expuesto por Rodríguez (2017), otros síntomas que se presenta en caso de ingesta por níquel son:

Se presentan afecciones en la piel cuando se produce contacto con agua contaminada y la ingesta en altas cantidades puede provocar mareos, después de la exposición al gas de níquel se puede presentar embolia de pulmón y fallos respiratorios. La exposición elevada al metal provoca defectos de nacimiento, asma, bronquitis crónica, desórdenes del corazón y reacciones alérgicas erupciones cutáneas. La intoxicación con níquel está asociada a diversos tipos de cáncer de pulmón, nariz, laringe y próstata (p. 3378).

6.2.5.7. Plomo.

Azcona, Ramírez & Vicente (2015) mencionan en su artículo de revisión que el plomo (Pb) es un metal de color gris, maleable. Debido a la diversidad de usos que se tiene para este material se han liberado niveles considerables del metal en el ambiente, y en consecuencia un incremento en

la exposición de la población lo que da lugar a problemas de salud pública. El plomo y todas las sustancias derivadas de este metal se encuentran presentes en el aire, plantas, animales, agua (ríos, océanos y lagos), polvo y suelo (Rubio, et al. 2004), esto da lugar a que los cultivos se encuentran altamente expuestos a crecer en suelos contaminados con Plomo. Las plantas que crecen en suelos contaminados con Pb pueden presentar inhibición en procesos como la germinación, crecimiento de plántulas, raíces y tallos, logrando que el Pb se movilice a todos los órganos de la planta (Blanco, Salazar, Vergara Cid, Pignata, & Rodríguez, 2017).

El ser humano se encuentra altamente expuesto a presentar intoxicación por Plomo, el cual puede ingresar al organismo por tres vías; respiratoria, digestiva y cutánea (Rubio et al. 2004). La vía respiratoria es la principal vía de exposición, puesto que actividades como fumar y practicar deportes puede contribuir a una exposición inhalatoria. El 30% del plomo inhalado se absorbe a través del pulmón (Klotz & Göen, 2017). En cuanto a la ingesta se menciona que los adultos pueden llegar a absorber el 10%, los niños absorben hasta el 50% del Pb ingerido (Rubio et al., 2004), aunque esta absorción se incrementa en caso de tener deficiencias de hierro o calcio, luego de presentarse la absorción el 99% de Pb se almacena en la sangre por un período de 30 a 35 días, de la cuarta a sexta semana posterior, el metal se transporta a otros órganos como el hígado, riñón, médula ósea y sistema nervioso central, después de 1 o 2 meses se difunde a los huesos (Azcona et al., 2015), donde se acumula el 94% del plomo absorbido.

La ingesta finaliza con la llegada al hígado, donde se metaboliza y se elimina una parte por la bilis, en caso de sufrir deficiencias o poseer una concentración excesiva se elimina el Pb mediante la saliva, el sudor, el páncreas y por la orina. El plomo que puede atravesar la piel, folículos pilosos y glándulas sebáceas y sudoríparas llegando al torrente sanguíneo, donde junto con el plomo que proviene de las otras vías, es distribuido a los demás órganos del cuerpo anteriormente mencionados (Rubio et al., 2004). Otros efectos en la salud causados por el Pb son:

Tabla 1. Efectos del Plomo en la salud.

Gastrointestinales	Anorexia, dispepsia, estreñimiento, sabor metálico en la boca, dolor abdominal.
Hematopoyéticos	Anemia, punteado basófilo.
Neurológicos	Encefalopatía, muñeca o pie caídos.
Renales	Albuminuria, hematuria, cilindros en la orina.
Cavidad oral	Ribete de Burton, estomatitis ulcerosa.
Endocrinos y del sistema reproductor.	Anormalidades del ciclo ovárico, infertilidad, aborto espontáneo, alteraciones en los espermiogramas.
Fetales	Macrocefalia, poco peso, alteraciones del sistema nervioso, tasa de mortalidad aumentada

Fuente: Rubio et al., 2004.

6.2.6. Ácido Clorhídrico (HCl):

Es una sustancia incolora o ligeramente amarillo característica por poseer un olor fuerte. El vapor generado al contacto con el aire es corrosivo y en concentraciones superiores a las 5 ppm, puede generar irritación. Cuando este compuesto se encuentra en estado líquido, es sin olor a bajas concentraciones y humeante, de olor fuerte en caso de altas concentraciones. Tiene un pH de 0,1

(1N) y 2,01 (0.01N). Su punto de fusión en anhídrido es de -114,8 °C, y 74°C en solución acuosa al 37% (IDEAM, 2010a).

6.2.7. Ácido Nítrico (HNO_3):

Es un ácido fuerte, corrosivo y de vapores sofocantes, se encuentra en la naturaleza en forma de sales. Se caracteriza por ser un líquido incoloro o amarillento, pero puede llegar a tornarse rojizo, en caso de presentar elevadas concentraciones de Dióxido de Nitrógeno, de igual manera en elevadas concentraciones posee un olor irritante y muy fuerte. Este compuesto es completamente soluble en agua. Presenta un pH de 0,1 en solución acuosa (0,1 M); su punto de fusión es de 41,6°C al 100%, -41,69°C al 69,2% en agua y -54°C fumante rojo. (IDEAM, 2010b).

6.2.8. Agua Tipo I.

Es agua a la que se le han eliminado los metales presentes, mediante filtración por medio del equipo Milli-Q (ver anexo 2). Para obtener este nivel de purificación, el agua debe pasar a través de cartuchos de purificación, hasta alcanzar una resistividad de 18,2 M Ω cm (a 25°C) y un TOC inferior a 5 ppb. Posteriormente, recircula a través de un lazo hasta el dispensador, donde un filtro específico de aplicación se encarga de eliminar los contaminantes específicos (Merck, 2020).

6.2.9. Bioacumulación

Es el proceso por el cual una concentración química es incrementada en un organismo en comparación a las concentraciones disponibles en el ambiente, debido a la transferencia por todas las rutas incluyendo la absorción a través de la dieta, transporte a través de las vías respiratorias y el contacto con la vía térmica (Espinoza, 2016).

6.2.10. Biomagnificación.

Es el proceso de transferencia de un contaminante, incluidos los metales y metaloides, a través de la cadena trófica, lo que resulta en una alta concentración de los contaminantes dentro del organismo en comparación con la concentración en su dieta (Espinoza, 2016).

6.2.11. *Spinacia oleracea* L.

La *Spinacia oleracea* L. (espinaca) es una planta clasificada como hortaliza (Cámara de Comercio de Bogotá, 2015) de hoja verde, estación fría, con una rápida maduración (Sardar et al. 2020), hace parte de la familia Chenopodiaceae (Sharmila et al., 2020). *Spinacia oleracea* L. posee una considerable fuente de minerales y vitaminas, especialmente como la “vitamina C, luteína, flavonoides, magnesio, ácido fólico, hierro, potasio y ácidos grasos insaturados” (Hayaty Nejad, Mohamadi Sani & Hojjatoleslami, 2014, p. 182).

La espinaca es una hortaliza muy consumida debido a sus propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, anticancerígenas (Mu et al., 2020), anti proliferativa, protectora del hígado, antialérgica, previene la pérdida de hueso en la osteoporosis (Sharmila et al., 2020). Cabe recalcar que la espinaca puede almacenar metales pesados, dando lugar a la acumulación en la cadena alimentaria (Sardar et al., 2020).

6.2.11.1. Origen, descripción botánica.

La espinaca (*Spinacia oleracea* L.) proviene principalmente de Asia, posteriormente se introduce en Europa cerca del año 1.000 d.C. pero hasta el siglo XVIII se establecieron algunos cultivos de explotación, principalmente en países como Holanda, Inglaterra y Francia (Cámara de Comercio de Bogotá, 2015; Jiménez et al., 2010; Sharmila et al., 2020), posteriormente se cultivó en otros países hasta llegar a América (Jiménez et al., 2010).

La planta de la espinaca se caracteriza por poseer hojas triangulares, anchas, con textura lisa rizada o globosa en las ambas superficies de la hoja (Sharmila et al., 2020; Doñate, 2013). La hoja es de color verde intenso a oscuro, poseen un peciolo largo, aunque la forma de la hoja se relaciona con el método de siembra que se implemente. La hoja es la parte de la planta que es consumida (Cámara de Comercio de Bogotá, 2015).

El tallo es erecto, succulento puede llegar a medir de 30 cm a 1 m de largo, algunas veces puede ser de color rojizo (Jiménez et al., 2010; Sharmila et al., 2020). La planta posee una raíz pivotante, poco ramificada y con un desarrollo radicular superficial que puede llegar a alcanzar entre 15 a 20 cm de profundidad. La espinaca realiza la producción de hojas anualmente y produce semillas bienales. Las semillas se producen en flores de color blanco y/o verde amarillento, estaminadas, pistiladas o hermafroditas (Cámara de Comercio de Bogotá, 2015; Jiménez et al., 2010; Doñate, 2013).

6.2.11.2. Identificación Botánica.

Tabla 2. Clasificación Taxonómica de *Spinacia oleracea* L.

Reino:	Vegetal
Subreino:	Angiospermas
Orden:	Caryophyllales
Familia:	Chenopodaceae
Género:	Spinacea
Especie:	Oleracea
Nombre Científico:	<i>Spinacia oleracea</i> L.
Nombre Común:	Espinaca

Fuente: Guapás Baldeón (2013).

6.2.11.3. Variedades de *Spinacia oleracea* L.

Según diversos estudios existen cientos de variedades de espinaca, esto debido a la adaptabilidad de la planta a los diversos países en los que se encuentra ubicada. En Colombia se cultivan tradicionalmente algunas variedades, como las Grenell y Quinto, aunque existen otras variedades como Bolero, Viroflay, Sapporo, Corona y Marimba (Jiménez et al. 2010).

La variedad viroflay se caracteriza por tener hojas semi crespas, redondas y tallo semi-erecto;

es de color verde intenso con un ciclo más prolongado (60 días). La variedad Bolero tiene hojas lisas, es color verde oscuro, debido a que posee un muy buen rendimiento es utilizada para mercado fresco y agroindustria, la variedad quinto posee características muy similares a la variedad Bolero, aunque se desarrolla entre 40 y 50 días (Cámara de Comercio de Bogotá, 2015).

6.2.11.4. Crecimiento, requerimientos de cultivo.

Esta planta tiene un ciclo de vida semestral o trimestral dependiendo de la variedad que se cultiva, la espinaca requiere de suelos con altos contenidos de compuestos orgánicos, con texturas franco o franco arenoso, pH ligeramente ácido (entre 5.7 y 6.8). Los cultivos de espinaca se ubican entre 1.430 y 2.800 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m). Esta planta tiene un tiempo de 55 a 75 días, desde la germinación puede tardar entre 7 a 15 días, período en el cual finaliza con el desarrollo de las hojas, etapa en la cual se presenta el desarrollo del tallo y la aparición hasta de nueve hojas, este período puede tardar de 20 a 45 días. El crecimiento de la roseta finaliza a los 30 o 40 días y finalmente se presenta el desarrollo de las hojas, etapa donde se obtiene hasta el 80% de masa foliar y la altura de la planta esperada, dependiendo de la variedad (Cámara de Comercio de Bogotá, 2015).

6.2.11.5. Estudios sobre la planta de espinaca.

El artículo *Foliar application of lead and arsenic solutions to Spinacia oleracea: biophysicochemical analysis and risk assessment*, elaborado por Natasha, Shahid, & Khalid (2020), donde se evalúa el efecto de la aplicación de dos metales (As y Pb) sobre la absorción de *Spinacia oleracea L.*, obteniendo como resultado que la planta de *Spinacia oleracea L.* puede acumular ambos metales en sus hojas a través de la parte foliar de la planta.

Metal(loid) induced toxicity and defense mechanisms in Spinacia oleracea L.: Ecological hazard and Prospects for phytoremediation elaborado por Chaturvedia, Favasb, Pratasc, Varunf, & Paul (2019), evalúan el potencial de fitorremediación de *Spinacia oleracea L.* cuando es cultivado en suelos contaminados con metales pesados. Las plantas se cultivaron en suelos con diferentes dosis de Pb, Cd y As, además evalúa la acumulación de los metales después de la cosecha. Concluyó que esta planta es una opción viable para realizar procesos de fitorremediación en sitios contaminados con Pb y Cd. Aunque se presentan elevadas concentraciones de los metales en la parte comestible de la planta superando los límites de la USEPA.

Sinha y sus colaboradores realizaron en el año 2007 el artículo *Uptake and translocation of metals in Spinacia oleracea L. grown on tannery sludge-amended and contaminated soils: Effect on lipid peroxidation, morpho-anatomical changes and antioxidants*, donde para el desarrollo del estudio se cultivaron espinacas en suelos contaminados y enmiendas de curtiembres, evidenciando la presencia de acumulación de Cromo en las hojas de las plantas cultivadas.

Pandey (2006) *Accumulation of heavy metals (Cd, Cr, Cu, Ni and Zn) in Raphanus sativus L. and Spinacia oleracea L. plants irrigated with industrial effluent*, en su artículo en el cual se cultivaron especies (*Raphanus sativus L.* y *Spinacia oleracea L.*) en un suelo no contaminado y fueron regadas con efluentes industriales, las especies posteriormente evidenciaron gran acumulación de los metales, especialmente en *Spinacia oleracea L.* en la cual se encontró presencia de Cr, Cu, Ni y Zn. Concluyendo que la concentración tisular fue mayor en las plantas cultivadas de *Spinacia oleracea L.* generando alteraciones en el crecimiento, tiene una forma torcida e irregular, presenta un color amarillento y marchitamiento en las hojas más viejas

Zhu, Huang, Hu, , Liu, & Christie (2004), en su artículo *Interactions between selenium and iodine uptake by spinach (Spinacia oleracea L.) in solution culture*, se evaluó las interacciones entre la absorción de Selenio y Yodo en plantas de espinaca, obtenido como resultado que las plantas acumularon fácilmente Selenio (Se) e Yodo (I) en las partes comestibles (hojas), evidenciando que las concentraciones de Se en los tejidos vegetales no se afectan por las concentraciones de Yodo de la planta.

6.3. Marco Normativo.

A continuación, se establece la normatividad nacional e internacional que aplica para la presente investigación, la búsqueda se basó en países y organizaciones que contaran con normas donde se consideren el sector de alimentos frescos, y que contemplen los niveles máximos permisibles de algunos de los metales de estudio (Cr, Ni, Cu, Pb, As, Co y Cd).

En la *tabla 3* se presentan las normativas seleccionadas en las cuales se basa el presente estudio. Inicialmente encontramos las normativas nacionales, seguidas por el Codex alimentarius, el cual es una línea base para regir el sector de los alimentos en todos los países y finalmente se observa las normativas de la organización internacional de normalización, unión europea, Chile, China y la India.

Tabla 3. Normatividad aplicable a la investigación.

Normatividad	Descripción	Relación con el proyecto
Constitución política de Colombia de 1991 en el artículo 44	Es un derecho fundamental de los niños, entre otros, la alimentación nutritiva y equilibrada como estrategia para garantizar su desarrollo armónico e integral.	Este artículo se considera relevante, ya que con él se inicia en Colombia la preocupación por los alimentos ingeridos por los colombianos, principalmente los niños. Además, se reconoce que el desarrollo integral y armónico es posible con una alimentación sana. Se informa de la importancia de alimentos limpios y libres de contaminantes, perjudiciales para la salud.
Ley 09 de 1979 (Por el cual se dictan medidas sanitarias)	ARTÍCULO 410. Las frutas y hortalizas deberán cumplir con todos los requisitos establecidos en la presente Ley y sus reglamentaciones. 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	Esta ley es relevante debido a que se menciona que las prácticas llevadas a cabo en Sibaté, Cundinamarca respecto al uso de aguas contaminadas como fuente de riego, están prohibidas, por los posibles riesgos para la salud.
Resolución 14712 de 1984	Por medio de la cual se reglamenta lo relacionado con producción, procesamiento, transporte, almacenamiento y comercialización de vegetales como frutas y hortalizas elaboradas.	El artículo 8 de esta resolución estipula que las frutas y hortalizas no deben ser regadas con aguas contaminadas.
CONPES 3375 DE	Política colombiana de sanidad agropecuaria e inocuidad de alimentos para el sistema de	Este artículo es fundamental para el documento, pues con este se podrá hacer la correcta

2005	medidas sanitarias y fitosanitarias.	comparación o identificación del peligro de los metales pesados que posiblemente se identificaran en el área experimental.
Resolución 4506 de 2013	Por la cual se establecen los niveles máximos de contaminantes en los alimentos en Colombia destinados al consumo humano y se dictan otras disposiciones	Bajo esta resolución se podrán hacer las comparaciones pertinentes a nivel nacional con los resultados hallados, y así llegar a saber si la espinaca es apta para consumo humano.
Codex alimentarius (CODEX STAN 193-1995)	Norma general del CODEX para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos.	Se establecen los límites permisibles de contaminantes a nivel internacional para diferentes alimentos, dentro de la cual se evalúan los metales pesados.
ISO 22000	Norma internacional que define los requisitos que debe cumplir un sistema de gestión de seguridad alimentaria para asegurar la inocuidad de los alimentos a lo largo de toda la cadena alimentaria	Por otro lado, con este artículo tenemos una versión más holística, pues con esta podemos revisar los requerimientos a nivel internacional y no solo nos quedamos con los requerimientos nacionales.
REGLAMENTO (CE) No 1831/2006 DE LA COMISIÓN de 19 de diciembre de 2006	Se fija el contenido máximo de determinados contaminantes en los productos alimenticios en la Unión Europea.	Este Decreto sirve para establecer los límites permisibles para los alimentos en la Unión Europea y compararlos con los resultados obtenidos.
Decreto 977 de 1996	Reglamento sanitario de los alimentos para Chile.	Este Decreto sirve para establecer los límites permisibles para los alimentos en Chile y compararlos con los resultados obtenidos.
GB 2762-2012	Es la norma de Alimentos en China sobre los límites máximos de residuos de Contaminantes en Alimentos.	Se establecen los límites máximos permisibles de contaminantes en alimentos para China, dentro de los cuales se encuentra el Plomo, Cadmio, Arsénico, Níquel y Cromo.
Food safety and standards (Contaminants, toxins, and residues) Regulations, 2011	Es una regulación establecida en el año 2011 por el gobierno de la India para regular y establecer la seguridad alimentaria.	Se establecen los valores máximos permisibles de contaminantes en los alimentos importados y nacionales, dentro de los cuales se contemplan algunos metales pesados.

Fuente: Autores, 2020.

6.4. Marco geográfico.

El trabajo realizado se desarrolla en un predio ubicado cerca al embalse del Muña, ubicado en el municipio de Sibaté, municipio ubicado en la cuenca media del río Bogotá, y que hace parte de la provincia de Soacha.

6.4.1. Provincia de Soacha.

La provincia de Soacha comprende dos (2) municipios (Sibaté y Soacha), tiene una extensión de 307 km² para el 2017 contaba con 573.535 habitantes (Gobernación de Cundinamarca, 2018).

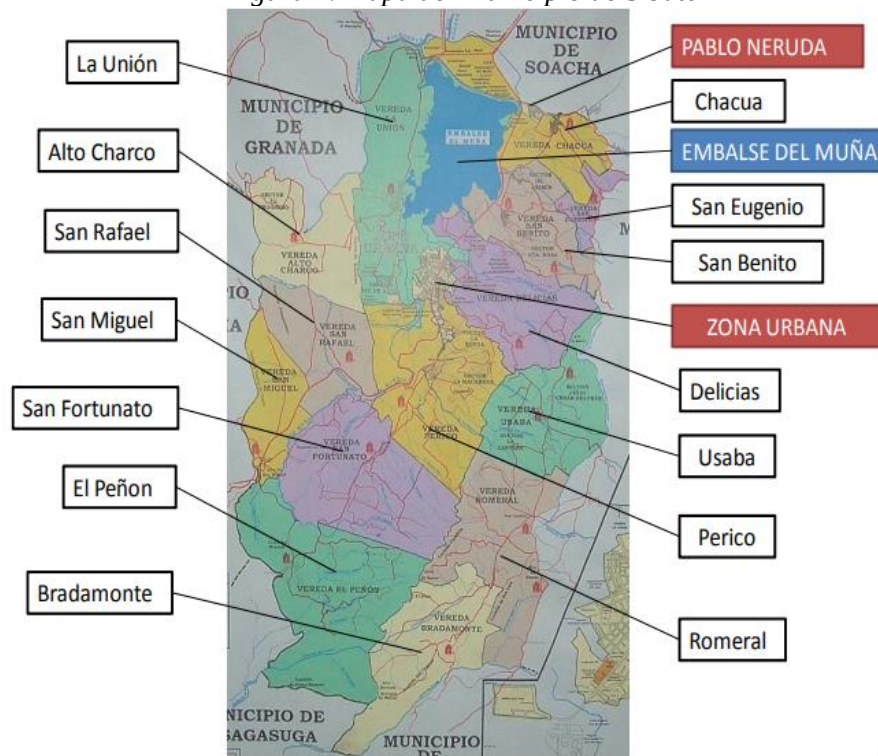
Figura 1. Mapa de la Provincia de Soacha.



Fuente: Gobernación de Cundinamarca (2018)

6.4.2. Municipio de Sibaté.

Figura 2. Mapa del Municipio de Sibaté



Fuente: Combariza Bayona, D.A (2009).

En base a la información brindada por la Alcaldía Municipal de Sibaté (2016) el municipio se encuentra ubicado en el departamento de Cundinamarca a los 2.700 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.), hace parte de la provincia de Soacha (Secretaría de Planeación de Cundinamarca y

Oficina de Sistemas de Información Análisis y Estadísticas, 2015), ubicado a 27 km al sur de Bogotá, dentro de la zona Suroccidental de la Sabana de Bogotá.

El municipio tiene los siguientes límites: al Oriente se encuentran las cuchillas de San Luis, las Lomas de Gramilla y Curubital, los Altos de los Armadillos y del Zarzo; los cuales se distinguen por tener la cota de mayor elevación, 3.330 Metros sobre el nivel del mar. Al Occidente se localizan las cuchillas de las vueltas del Cerro y del Tequendama, las Lomas de los Alpes y de las Flores, el Pico del Minoral, los Altos de Paloquemao y de la Angarilla los cuales se encuentran entre los 2.570 a 3.000 Metros sobre el nivel del mar. Al sur se levantan la cuchilla de Peña Blanca y el Chuscal; ésta última se eleva 3.200 Metros sobre el nivel del mar. Hacia el Centro y el Norte se presenta una superficie plana, prolongación de la sabana de Bogotá; en relación con la superficie total, la parte plana ocupa una extensión de 3.172 hectáreas y representa el 26%.

El municipio cuenta con un área aproximada de 125.6 km², distribuida en 16.9 km² de área urbana y 108.7 km² de área rural (Alcaldía Municipal de Sibaté, 2016a), de los cuales 11 km² están destinadas a la producción agrícola, siendo la producción de fresa, papa y arveja, siendo estos los cultivos predominantes en el municipio, adicionalmente el municipio cuenta con 65.5 km², aproximadamente, dedicados a la producción de pastos, 40.5 km² a la producción de ganado de leche, 31.8 km² dedicados a la producción de ganado de carne y 120 a otras especies pecuarias (Alcaldía Municipal de Sibaté, 2016a). Para 2018 en el municipio se contaba con una población de 31.202 habitantes (DANE, 2018)

En Sibaté predomina el clima frío y templado, aunque con temporadas muy lluviosas aun en los meses más secos. La temperatura promedio del municipio es 13.5°C, y presenta una precipitación media de 723 mm (Alcaldía Municipal Sibaté, 2020).

El municipio posee un paisaje conformado por montaña estructural y valle aluvial. Gran parte del territorio presenta una alta influencia de depósitos de ceniza volcánica, por lo que son de orden andisol, y en algunas zonas se presentan suelos de orden Inceptisol, Entisol y Alfisol. Los suelos poseen fertilidad de moderada a alta y poseen diversas características, algunas de ellas son pH ligeramente ácido, moderada a baja saturación de Aluminio (Cardozo Martínez & Vargas Peña, 2017).

6.4.2. Embalse del Muña.

El embalse del Muña se localiza en el sector norte de la cuenca baja del río Bogotá (Funeme Mayoral, 2017), tiene un área aproximada de 8.93 Km² y se ubica a una altura de 2.565 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m) (Sarmiento., Idrovo, Restrepo, Díaz & González, 1999). Se inició su construcción en el año 1931 con el fin de almacenar los caudales provenientes de los ríos aguas claras y Muña, adicionalmente se quería producir energía. Para el año 1967 la empresa de energía de Bogotá (EEB) comenzó el bombeo de las aguas del río Bogotá al embalse del Muña, pues esto incrementó el caudal para incrementar la producción de energía. A partir de ese momento se alteran las características físicas y químicas del embalse (Funeme Mayoral, 2017).

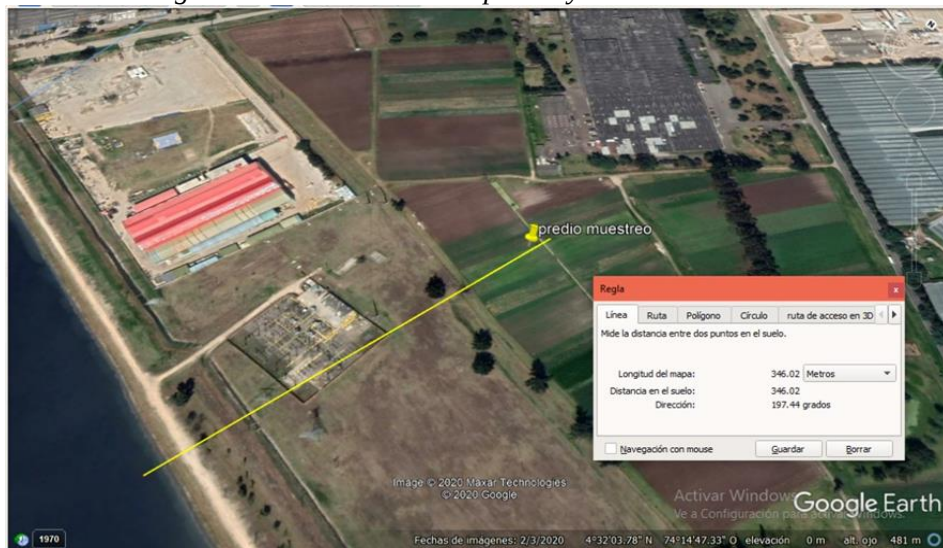
El río Bogotá es abordado por tres grandes cuerpos de agua que recorren Bogotá, el río Salitre drenando la zona norte de la ciudad y uniéndose en la calle 80 con el río Bogotá; el río Fucha drenando la zona sur de la ciudad y uniéndose en la calle 13 con el río Bogotá; y el río Tunjuelo, drenando la zona sur de la ciudad y uniéndose en Soacha con el río Bogotá. Adicionalmente algunos humedales, canales como el Torca y los lixiviados del relleno Doña Juana drenan hacia el río Bogotá. Estos cuerpos de agua aportan diariamente toneladas de materiales suspendidos,

sedimentos, residuos sólidos, microorganismos patógenos, metales pesados, entre otras sustancias tóxicas (Funeme Mayoral, 2017). El embalse del Muña recolecta las aguas provenientes de la cuenca media y alta del Río Bogotá, almacenando los contaminantes provenientes de la cuenta alta y media del río.

6.4.3. Predio de muestreo.

El predio en que se realiza se encuentra ubicada en las coordenadas $74^{\circ}14'46.90''\text{O}$ y $4^{\circ}32'5.40''\text{N}$, en el km 16 vía Sibaté, a una distancia de 350 metros aproximadamente con referencia al extremo más cercano al Embalse del Muña, por lo que algunos de los cuerpos de agua que son usados para el riego de los cultivos es proveniente del embalse.

Figura 3. Distancia entre el predio y Embalse del Muña



Fuente: Autores & Google Earth.

Figura 4. Predio de muestreo.



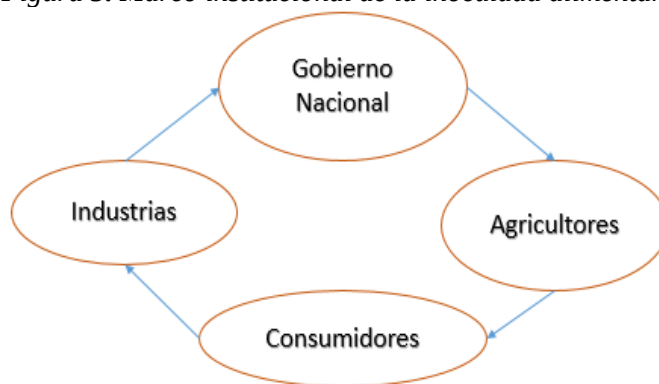
Fuente: Autores, 2020.

6.5 Marco institucional

Los principales actores involucrados en la inocuidad de los alimentos según la FAO son los productores, industrias, consumidores y el Estado. El estado es el encargado de brindar o crear las normativas que aseguren la calidad y un adecuado manejo de los factores ambientales, con el fin de asegurar el cumplimiento de los demás actores y obtener los resultados esperados. Es deber de los agricultores y de las industrias acatar el marco normativo impuesto por el estado y aplicar sistemas de control de calidad para ratificar que los alimentos son inocuos. (FAO, 2002).

Los consumidores son fundamentales, aunque son el último eslabón del ciclo de vida útil de los productos, son los más importantes, pues a pesar de que los demás actores cumplan con sus respectivas responsabilidades, si los consumidores no realizan una correcta manipulación y almacenamiento de los alimentos, terminan consumiendo alimentos no inocuos, afectando así la salud de las personas que consumen los alimentos (Organización Mundial de la Salud, 2019).

Figura 5. Marco institucional de la inocuidad alimentaria



Fuente: Autores, 2020.

Es importante mencionar, que la presente investigación es interinstitucional, debido a la necesidad de hacer uso de los laboratorios de otras instituciones educativas como la Universidad Pontificia Javeriana y la Fundación Universitaria Juan N. Corpas, adicionalmente es necesario tener un apoyo en entidades públicas como el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, las Corporaciones Autónomas Regionales, el ministerio de salud, la FAO y la OMS, quienes son las encargadas de crear y vigilar el cumplimiento de normativas que regulan el sector de los alimentos a nivel nacional o internacional respectivamente.

Figura 6. Marco institucional de la investigación.



Fuente: Autores, 2020.

6.6. Marco metodológico.

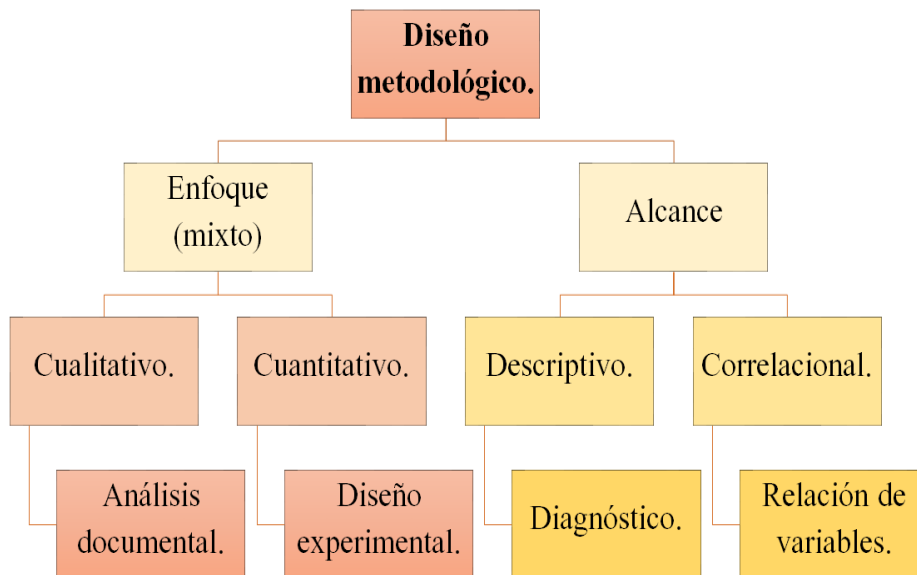
El presente trabajo presenta un enfoque mixto, pues es desarrollado desde los enfoques cualitativos y cuantitativos, el desarrollo de estos enfoques da lugar a una triangulación de los datos obtenidos por medio de tablas comparativas y análisis basada en los resultados obtenidos experimentalmente.

6.6.1. Diseño Metodológico.

El presente trabajo se realizó bajo un enfoque mixto, pues comprende los enfoques cualitativos, debido a que inicialmente se realiza un análisis documental con el fin de establecer las teorías en las cuales se basa la investigación y los posibles efectos que genera la intoxicación por metales pesados, y el enfoque cuantitativo se abarca posteriormente al realizar el diseño experimental con el fin de obtener los resultados de manera experimental.

El trabajo se basa en el alcance descriptivo y correlacional, pues se busca describir el comportamiento que presentan los metales entre la planta y el suelo, haciendo uso de variables como las características fisicoquímicas de los metales y el suelo.

Figura 7. Diseño metodológico



Fuente: Autores, 2020.

6.6.2. Enfoque.

El presente trabajo tiene un enfoque metodológico mixto, debido a que durante todo el proceso se llevará a cabo la revisión bibliográfica y análisis de la información recolectada producto de la revisión, esto junto con las pruebas realizadas en laboratorio, no se realizará ninguna propuesta de alternativa referente a las formas de riego o técnicas de cultivos que se presentan en el municipio de Sibaté. El enfoque se encaminará a la identificación de metales, transferencia de estos hacia los diversos órganos de la planta y como el consumo de este alimento afectará la salud pública.

6.6.2.1. Cualitativo- Análisis Documental.

El desarrollo de los análisis de laboratorio, se realiza a partir de una revisión documental

mediante la cual se determina la metodología a realizar; Los procedimientos que serán realizados en el laboratorio fueron debidamente investigados, incluyendo los ácidos que se implementaron (HCl_{RA} y HNO_3_{RA}), las cantidades de los mismos, el tiempo necesario para llevar a cabo las digestiones y que se pretende al implementar esta metodología, para así obtener la lectura de los niveles de metales pesados As, Cd, Cr, Co, Cu, Ni Y Pb presentes en los órganos de tallo, hoja, raíz de la especie *Spinacia oleracea* L.(Espinaca); posteriormente se procede a realizar la respectiva comparación entre los resultados obtenidos y los niveles permisibles establecidos en la normativa Nacional e Internacional.

6.6.2.2. Cuantitativo- Diseño Experimental.

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo general establecer la acumulación de metales pesados (As, Cd, Cr, Co, Ni y Pb) de *Spinacia oleracea* L. (espinaca) cultivadas en el municipio de Sibaté, Cundinamarca para determinar la inocuidad alimentaria del tallo y hojas.

La muestra recolectada en el municipio de Sibaté hace parte de los cultivos que se comercializan en las principales plazas de mercado de Bogotá, por ello nace el interés de realizar la investigación de tallo y hojas, que son partes comercializadas en diferentes plazas de mercado de Bogotá, según la información suministrada por los trabajadores del predio.

6.6.3. Alcance.

El proyecto se divide en dos etapas; la primera es descriptiva, puesto que se busca identificar los metales pesados presentes en *Spinacia oleracea* L., y la segunda parte, trata del análisis de los resultados obtenidos con respecto a la normativa legal vigente Nacional e Internacional, la transferencia de los metales pesados en la especie *Spinacia oleracea* L. y por último los efectos que puede tener los valores obtenidos en temas de salud pública.

6.6.4. Unidad de análisis.

La unidad de análisis del presente proyecto son las muestras recolectadas directamente del predio seleccionado, muestras que son acondicionadas para posteriormente ser llevadas a los respectivos procedimientos de laboratorio.

6.6.5. Informantes

Debido a que el presente trabajo presenta una metodología de carácter mixto, es necesario tener en cuenta la información, primero de los investigadores por las observaciones realizadas en campo, segundo los datos recolectados en el laboratorio por medio del método de absorción atómica, tercero los reportes a nivel Nacional e Internacional, considerando la legislación, por último la población civil y la información disponible acerca de las enfermedades relacionadas por el consumo de los metales en estudio.

6.6.6. Variables, dimensiones, técnicas e instrumento.

En la *Tabla 4* se mencionan las variables, técnicas e instrumentos que se abarca el presente trabajo. Se trabajan principalmente 2 dimensiones: social y ecológica debido a que contienen variables que pueden ser medidas en base a los objetivos anteriormente planteados.

Tabla 4. Variables, dimensiones, técnicas e instrumentos.

DIMENSIÓN	VARIABLE	ASPECTO	INDICADOR	TÉCNICA	INSTRUMENTO
Social	Salud	Pública y ambiental. Inocuidad alimentaria	Concentración de metales pesados. Enfermedades	Investigación. Absorción atómica	Normativa vigente. Fuentes bibliográficas. VARIAN AA-140
Ecológica	Contaminación por metales pesados.	Transferencia	Bioacumulación en plantas. Tasa de transferencia	Absorción atómica.	Normativa. Tablas de datos. VARIAN AA 140

Fuente: Autores, 2020.

7. Metodología.

La metodología presentada a continuación se compone de dos partes: los métodos, abarcan la parte teórica de los métodos que se implementan en la parte experimental. La metodología experimental por otro lado expone el paso a paso de las actividades planteadas en el plan de trabajo para dar cumplimiento a los objetivos específicos de la presente investigación.

7.1 Métodos.

I. Digestión ácida en fresco.

Técnica utilizada para la preparación de muestras. Esta técnica tiene como objetivo la solución compleja de los analitos y la descomposición total de las muestras evitando la pérdida o contaminación de las sustancias de interés, para nuestro caso los metales pesados. De igual manera esta técnica reduce las interferencias y convierte los metales a una forma en que se pueden analizar, mediante técnicas analíticas posteriores, como la espectrofotometría de absorción atómica. Para realizar la digestión ácida es necesario hacer uso de ácidos, uno de los más utilizados es el ácido nítrico, para este estudio se hizo uso del ácido nítrico y ácido clorhídrico, el uso de estos ácidos es con la finalidad de formar cloruros y nitratos con los metales presentes en la muestra, para poder evaluar estos iones en los equipos de espectrofotometría de absorción. (Molina Tapia & Valdés Huerta, 2016).

II. Espectroscopia de absorción atómica en llamas.

Es un método instrumental utilizado para la cuantificación de analitos en solución. Este método se basa en la ley de Kirchoff, la cual indica que: “la materia puede absorber o emitir luz a una cierta longitud de onda también absorberá luz a esa longitud de onda” (Remache Tixe, 2013, p. 23). La absorción atómica es el proceso que ocurre cuando los átomos en estado fundamental absorben una energía determinada, al ser este un átomo inestable, este regresa a la configuración inicial, para lo cual emite radiación a determinada frecuencia (Razmilic, 1994).

Mediante la implementación de esta técnica es posible la determinación de al menos 70 elementos, además de considerar que la determinación es elemental, ya que cada uno de los elementos se determina dependiendo de la onda de luz que emite. (Avellaneda Romero & Caro Castiblanco, 2015).

III. Espectrofotómetro VARIAN AA-140.

Instrumento de gama media que ofrece un alto nivel de automatización ofreciendo opciones como la selección automática de longitud de onda y un corrector de fondo de deuterio de alta intensidad (Varian, 2007).

IV. Lámpara de cátodo hueco.

Estas lámparas consisten en un cilindro de vidrio sellado al vacío (1-5 torr) y con un gas inerte en su interior, como es el caso del neón o argón. Dentro del cilindro se ubican dos filamentos, el cátodo y el ánodo. El ánodo generalmente es un alambre grueso elaborado en wolframio y el cátodo está construido con el metal cuyo espectro se desea obtener, o bien sirve de soporte para una capa de dicho metal (García Arberas et al., 2018).

En la tabla, se describen las longitudes de onda y las corrientes de las lámparas de los respectivos metales analizados, de acuerdo con los anexos 2, utilizados en laboratorio.

Tabla 5. Longitud de onda y corriente de la lámpara de los metales.

Metal	LONGITUD DE ONDA (nm)	CORRIENTE DE LA LÁMPARA (mA)
Arsénico	193.7	10
Cadmio	326.1	4
Cobalto	345.4	7
Cobre	324.7	4
Cromo	425.4	7
Níquel	341.5	4
Plomo	405.8	5

Fuente: Autores, 2020.

V. Uso y calibración del equipo.

Para la cuantificación de metales pesados se utilizó un equipo de absorción atómica que se encuentra en el laboratorio de la Universidad Javeriana, dicho equipo recibe el nombre de VARIAN AA-140 y SHIMADZU AA-7000. Para la correcta determinación de cada metal, es necesario realizar una calibración con el metal de interés, adicionalmente es necesario el uso de una lámpara de cátodo hueco.

Para la calibración antes mencionada se debe tener en cuenta la ficha de seguridad de cada metal,

en dichas fichas es posible encontrar las diluciones requeridas para cada metal de interés. A continuación, se presenta un ejemplo de calibración con el Plomo (Pb), las demás calibraciones se pueden encontrar en el anexo 5.

VI. Ejemplo con Plomo.

Para la calibración del equipo se debe contar con los factores que este propone en su ficha dependiendo la lámpara, para este caso el plomo. Para lo cual se tiene la siguiente información, concentración (C), está expresada en ppm y absorbancia (A), está según la guía de cada una de las máquinas, establece lo siguiente (2-log (% de transmitancia)) y la transmitancia se conoce como la diferencia de potencias de la que entra y sale. Para W, es igual al valor de la pendiente.

Tabla 6. Calibración de equipo para Plomo.

C	A	C2	A*C	A Corregida
1	0,01350	1	0,0135	0,0086
5	0,06010	25	0,3005	0,0428
10	0,10230	100	1,023	0,0856
20	0,15840	400	3,168	0,1713
		526	4,505	0,0086

$$w = (A * C) / C^2$$

$$\text{Factor} = 116.7592$$

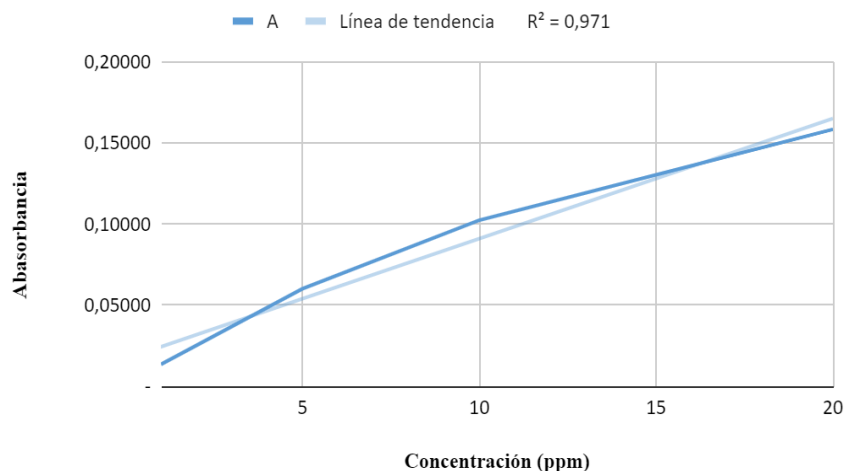
$$\text{Factor} = 1/w$$

$$C = \text{Factor} * \text{Absorbancia}$$

Así la concentración, es un factor que se mide en partes por millón (ppm), mencionado en el manual de cada uno de los elementos, también se menciona el número de diluciones y las concentraciones de estas para tener en cuenta para la concentración final y la medición de la curva. La absorbancia es una medida que el equipo brinda de absorción atómica. Esta primera calibración manual se realiza con las diluciones planteadas en el anexo 3, de acuerdo con esta se busca que la línea presente una pendiente $R^2=1$.

Figura 8. Curva Calibración Plomo.

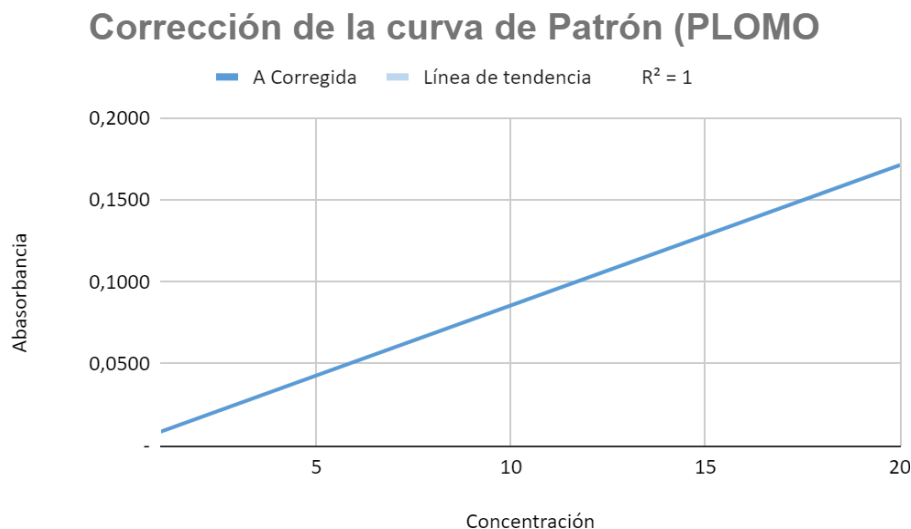
Curva Calibración - Solución Patrón (PLOMO)



Fuente: Autores, 2020

Como no se obtiene una pendiente (R^2) igual a 1 si no un $R^2=0,971$. Es necesario realizar una corrección manual, el cual consta de multiplicar la absorbancia por la concentración., la sumatoria de estos valores se multiplica por la concentración inicial, este se realiza para obtener un valor $R^2= 1$.

Figura 9. Corrección curva calibración Plomo.



Fuente: Autores, 2020.

Cabe resaltar que el proceso de calibración se realizó con el equipo VARIAN AA-140 ubicado en la Universidad Javeriana, en el cual se tomaron los datos iniciales, posterior se hizo el mismo estudio para los metales Cromo, Níquel, Cobre y Plomo en la Universidad EAN, el equipo utilizado fue el SHIMADZU AA-7000, el cual se presentaban los resultados de manera virtual requiriendo la corrección de los valores. Tanto las tablas mencionadas anteriormente como los anexos de cada una de las lámparas de cátodo hueco implementadas en el presente estudio, los valores obtenidos de las concentraciones se promediaron, dando cumplimiento al rigor técnico y científico del trabajo.

7.2. Metodología Experimental.

7.2.1. Plan de trabajo.

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

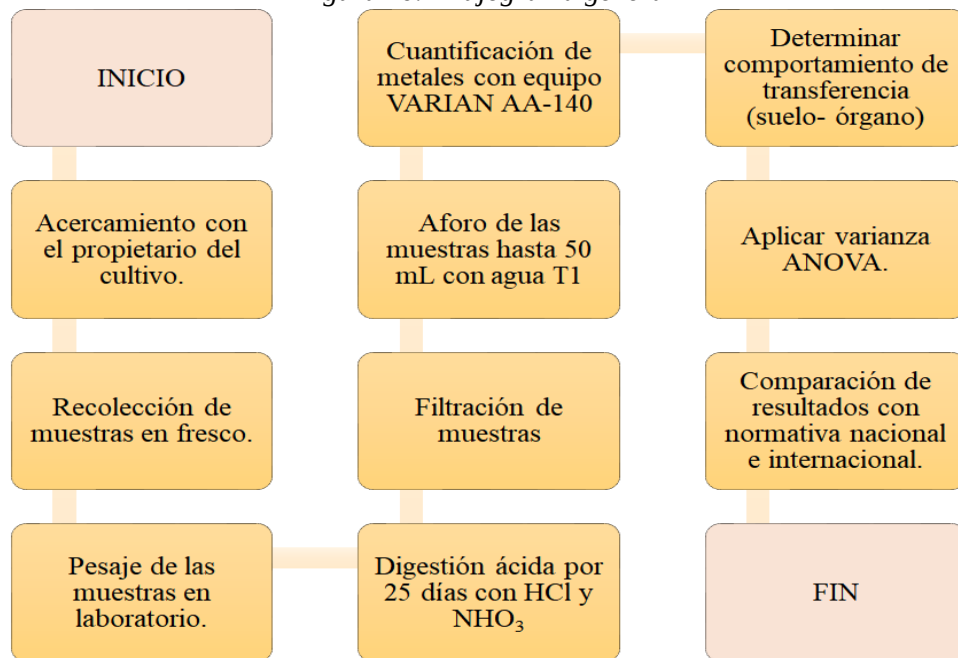
Tabla 7. Plan de trabajo.

Objetivo general	Objetivos específicos	Actividades	Técnica	Instrumento	Resultados esperados.
Establecer la acumulación de metales pesados (As, Cd, Cr, Co, Cu, Ni y Pb) de <i>Spinacia oleracea</i> L. (espinaca) obtenidas en el municipio de Sibaté, Cundinamarca.	Determinar la concentración de metales pesados (As, Cd, Cr, Co, Cu, Ni y Pb) acumulados en los órganos (tallo, hoja, raíz) de <i>Spinacia oleracea</i> L. (espinaca), cultivada en el municipio de Sibaté mediante la técnica de absorción atómica.	Visitas a Campo. Procesamiento de muestras. Recopilar información. Análisis de información.	Análisis documental. Recolección de datos. Digestión ácida Absorción atómica	Referencias bibliográficas. Libros. Normatividad Nacional e Internacional VARIAN AA-140 y SHIMADZU AA-7000	Identificar la presencia de metales pesados y la concentración de estos en las muestras.
	Analizar la transferencia de metales pesados del suelo a los diferentes órganos de la planta <i>Spinacia oleracea</i> L. (espinaca).	Revisión documental. Análisis de información. Procesamiento de muestras. Análisis de resultados.	Análisis documental.	Libros. Normatividad Nacional e Internacional. VARIAN AA-140 y SHIMADZU AA-7000	Identificar la cantidad de metales pesados presentes en la muestra de suelo, hoja, tallo, fruto y raíz, para determinar si se presenta o no transferencia de metales.
	Comparar la normativa vigente Nacional e Internacional para material fresco, la toxicidad de los metales (As, Cd, Cr, Co, Cu, Ni y Pb) presentes en el fruto <i>Spinacia oleracea</i> L. (espinaca).	Análisis comparativo de los resultados obtenidos con la normativa Nacional e Internacional vigente Revisión Bibliográfica.	Análisis documental. Análisis normativo. Análisis comparativo.	Libros. Normatividad Nacional e Internacional Tabla de datos.	En caso de, presentar presencia de metales pesados en la planta, determinar si las concentraciones de estos metales se encuentran dentro de los parámetros establecidos para el consumo Nacional e Internacionalmente e para alimentos frescos, de forma que se puede convertir en un asunto de salud pública.

Fuente: Autores, 2020.

7.2.2 Flujoograma General.

Figura 10. Flujoograma general



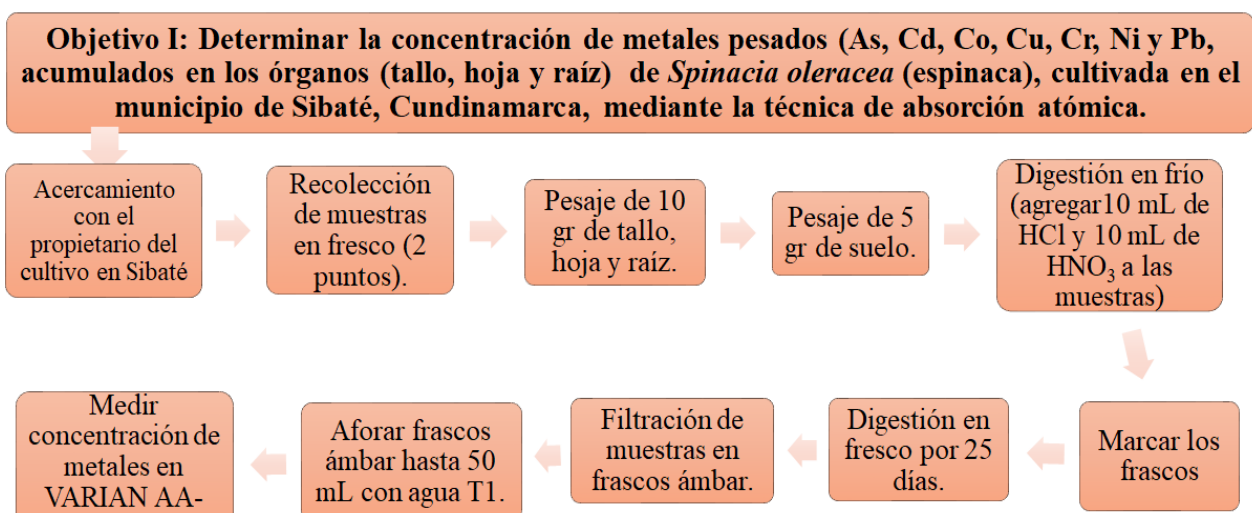
Fuente: Autores, 2020

7.2.3 Flujoograma metodológico por objetivos.

A continuación, se menciona la metodología realizada para dar cumplimiento con cada uno de los objetivos, inicialmente se evidencia el paso a paso mediante el uso de un flujoograma metodológico y posteriormente se detalla lo realizado experimentalmente para obtener los resultados, contenidos en el apartado 8 del documento,

7.2.3.1. Objetivo específico I.

Figura 8. Flujoograma objetivo I



Fuente: Autores, 2020.

El objetivo 1, Determinar la concentración de metales pesados Arsénico (As), Cromo (Cr), Cobalto (Co), Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Níquel (Ni) y Plomo (Pb), acumulados en los órganos (tallo, hoja y raíz) de *Spinacia oleracea* L.(espinaca), cultivada en el municipio de Sibaté, Cundinamarca mediante la técnica de absorción atómica. Este objetivo abarca la recolección de muestras, digestión en frío, lectura de las concentraciones con el equipo de absorción atómica y obtención de los resultados para posteriormente dar cumplimiento a los siguientes objetivos.

Para la recolección de las muestras, se realizó una visita a campo el día 13 de marzo de 2020, al municipio de Sibaté; en el predio ubicado en el km 16 vía Sibaté, se recolectaron muestras de suelo y órganos de *Spinacia oleracea* L., para lo cual se tomaron dos muestras de suelo y dos muestras de planta.

Siguiendo con la metodología de extracción, se procedió con la colecta de la especie incluyendo la raíz y muestra de suelo. Luego, se realizó la extracción de las muestras de suelo, con una pequeña pala se removi6 una porci6n de suelo de 5 cm de profundidad la cual se descart6 como posible muestra, posterior a esto se excav6 una profundidad de 20 cm y a esta distancia se tom6 una muestra de suelo en cada uno de los puntos (ver figura 12), la cual fue depositada en bolsas Ziploc. Se proces6 en el laboratorio una muestra de aproximadamente 10 gramos para cada una de las partes de la planta. Posteriormente dichas muestras fueron llevadas al laboratorio de la fundaci6n Universitaria Corpas para realizar la digesti6n 6cida en fresco.

Figura 12. Plano toma de muestras.



Fuente: Autores, 2020.

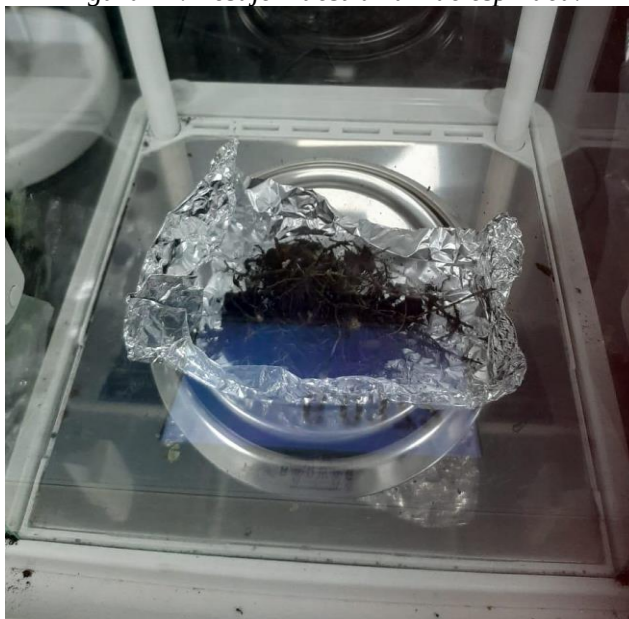
La digesti6n 6cida en fresco se realiz6 pesando individualmente 10 gramos de ra6z, tallo y hoja de la especie *Spinacia oleracea* L. (espinaca) y 5 gramos de la muestra de suelo.

Figura 13. Pesaje muestra del suelo



Fuente: Autores, 2020.

Figura 14. Pesaje muestra raíz de espinaca.



Fuente: Autores, 2020.

Se obtuvieron 2 muestras de cada uno de los órganos de la planta *Spinacia oleracea* L. (espinaca) y 2 muestras de suelo de Sibaté, Cundinamarca.

Después de determinar la masa de cada órgano en la balanza, se procede a llevar cada muestra en fresco a diversos recipientes de vidrio con 10 ml de HCl_{RA} y 10 ml de HNO_3_{RA} por 25 días en una digestión en frío (*figura 15*), pasado este tiempo se realizarán las respectivas filtraciones (Ver anexo 2, *figura 28*), las muestras filtradas se llevan hasta un aforo de 50 ml de agua tipo T1, seguido se realiza el envasado de la muestra en frascos de vidrio ámbar, las muestras quedan listas para ser leídas en equipo de absorción atómica VARIAN AA-140 y SHIMADZU AA-7000.

Figura 15. Digestión ácida en frío



Fuente: Autores, 2020.

7.2.3.2. Objetivo específico II.

Analizar la transferencia de los metales pesados Arsénico (As), Cromo (Cr), Cobalto (Co), Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Níquel (Ni) y Plomo (Pb) del suelo a los diferentes órganos de la planta *Spinacia oleracea* L. (Espinaca) cultivada en el municipio Sibaté, Cundinamarca.

Para analizar el porcentaje de transferencia de los metales pesados, se toman los resultados obtenidos en el objetivo 1, se procede a establecer la transferencia de metales pesados desde el suelo hasta los órganos de la planta, para lo cual se debe hacer uso de la siguiente fórmula:

$$\%Transferencia = \frac{ppm \text{ metal } \text{órgano estudio}}{ppm \text{ metal suelo}} * 100 \%$$

A partir de los porcentajes de transferencia obtenidos, se realizó un análisis de la varianza (ANOVA), siendo esta una herramienta estadística, de gran utilidad en la industria para el control de procesos y en los laboratorios de análisis, para el control de métodos analíticos, algunos de los usos de este análisis es la comparación de múltiples columnas de datos y la estimación de los componentes de variación de proceso (Boqué & Maroto, 2004).

7.1.3. Objetivo III

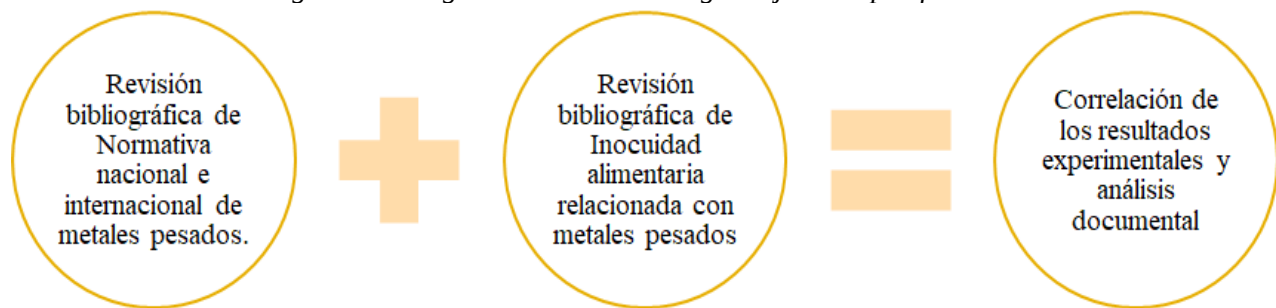
Comparar la normativa vigente Nacional e Internacional para material fresco frente a la concentración de los metales Arsénico (As), Cromo (Cr), Cobalto (Co), Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Níquel (Ni) y Plomo (Pb) presentes en *Spinacia oleracea* L.(espinaca).

Para dar cumplimiento a este objetivo, se realizó una revisión bibliográfica acerca de los estudios

realizados en los últimos cinco años sobre inocuidad alimentaria en diferentes cultivos afectados por metales pesados en Colombia y otros países. Adicionalmente se realizó una revisión de la normativa nacional e internacional aplicable a los niveles permisibles de los metales.

Estableciendo los resultados del objetivo 1, se procede a realizar una comparación con los resultados obtenidos y la normatividad Nacional e Internacional, con el fin de determinar el riesgo o peligrosidad que representa la espinaca cultivada en Sibaté, Cundinamarca para la inocuidad alimentaria.

Figura 16. Diagrama de la metodología objetivo específico III.



Fuente: Autores, 2020.

8. Resultados.

En el presente capítulo se presentan los resultados obtenidos para cada uno de los objetivos propuestos anteriormente.

8.1. Resultados para el objetivo específico I.

- Objetivo específico I: Determinar la concentración de metales pesados (As, Cd, Cr, Co, Cu, Ni y Pb), acumulados en los órganos (tallo, hoja y raíz) de *Spinacia oleracea* L, cultivada en el municipio de Sibaté, Cundinamarca mediante la técnica de absorción atómica.

Tabla 8. Concentraciones medias de metales por absorción atómica (mg/kg)

Concentración (mg/kg)	Raíz	Hoja	Tallo
Cromo	1,341±0,014	1,412±0,028	1,511±0,014
Níquel	0,017±0,001	0,012±0,002	0,023±0,007
Cobre	0,742±0,010	0,563±0,131	0,503±0,012
Plomo	2,652±0,063	1,796±0,125	2,443±0,271
Arsénico	0,642±0,067	0,420±0,014	0,616±0,022
Cobalto	1,172±0,041	1,115±0,062	1,169±0,009
Cadmio	0,517±0,500	0,018±0,001	0,019±0,0001
Total, metales	7,084 ±0,510	5,335±0,1940	6,283±0,2731

Fuente: Autores, 2020.

Se muestran los valores promedio de las concentraciones de los Metales Pesados (mg/kg) por parte de la planta (raíz, hoja, tallo) ± SEM (error estándar de la media).

8.2. Resultados para el objetivo específico II.

- Objetivo específico II: Analizar la transferencia de metales pesados (As, Cd, Cr, Co, Cu, Ni y Pb) del suelo a los diferentes órganos de la planta *Spinacia oleracea* L. (Espinaca).

Con el fin de obtener los resultados de este objetivo, se estableció el porcentaje de transferencia a través del total del metal que existe en el órgano a evaluar sobre la totalidad del metal presente en el suelo. Se multiplica por cien para establecer el porcentaje. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 9. Resultados para el objetivo específico II

Porcentaje de transferencia (%)	Transferencia Raíz	Transferencia Tallo	Transferencia Hoja	Transferencia total
Cromo	30,698	34,576	32,312	97,587
Níquel	0,843	1,120	0,561	2,524
Cobre	5,743	4,147	5,075	14,965
Plomo	35,110	32,290	23,818	91,218
Arsénico	12,062	11,526	7,832	31,420
Cobalto	20,993	20,926	19,972	61,891
Cadmio	30,842	1,097	1,029	32,967

Fuente: Autores, 2020.

8.3. Resultados para el objetivo específico III.

- Objetivo específico III: Comparar la normativa vigente Nacional e Internacional para material fresco frente a la concentración de los metales (As, Cd, Cr, Co, Cu, Ni y Pb), presentes en *Spinacia oleracea* L. (espinaca).

Tabla 10. Resultados para el objetivo específico III.

Límites permisibles mg/Kg	Colombia	Chile	Unión Europea	India	China	Codex Alimentarius	Resultados obtenidos tallo	Resultados obtenidos Hoja
Cromo	N/A	0,1	N/A	N/A	0,5	N/A	1,511	1,412
Níquel	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0,023	0,012
Cobre	N/A	1,0	N/A	3,0	N/A	N/A	0,503	0,563
Plomo	0,1	0,3	0,1	N/A	0,3	0,3	2,443	1,796
Arsénico	N/A	0,2	N/A	0.1	0,5	N/A	0,616	0,420
Cobalto	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1,169	1,115
Cadmio	0,2	N/A	0,2	0,2	0,5	0,2	0,019	0,018

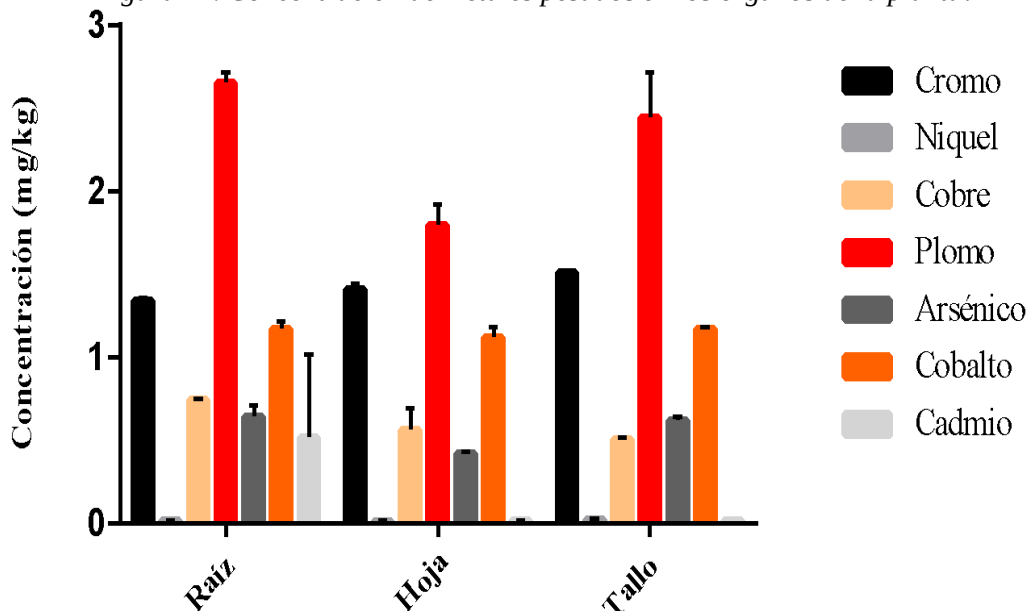
N/A: La normatividad no establece los límites permisibles para ese metal.

Fuente: Autores, 2020

9. Análisis y discusión de resultados.

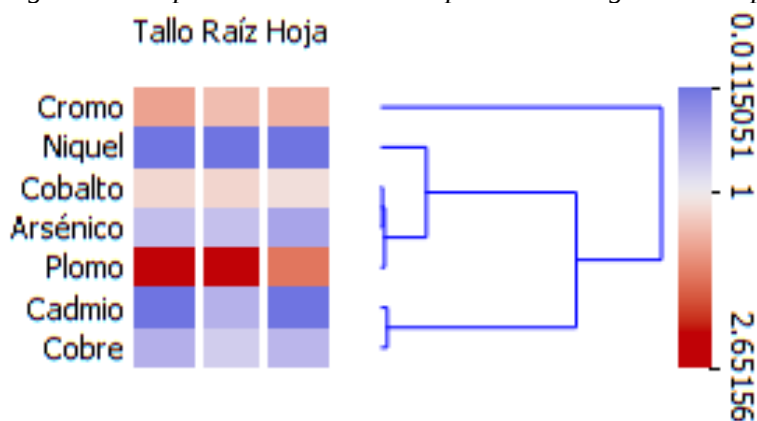
Los datos obtenidos en los resultados presentan una significancia estadística $p < 0,05$, por lo que se dice que se tiene un intervalo de confianza del 95%.

Figura 17. Concentración de metales pesados en los órganos de la planta.



Fuente: Autores, 2020.

Figura 18. Mapa de calor de metales pesados en órganos de la planta.



Fuente: Autores, 2020.

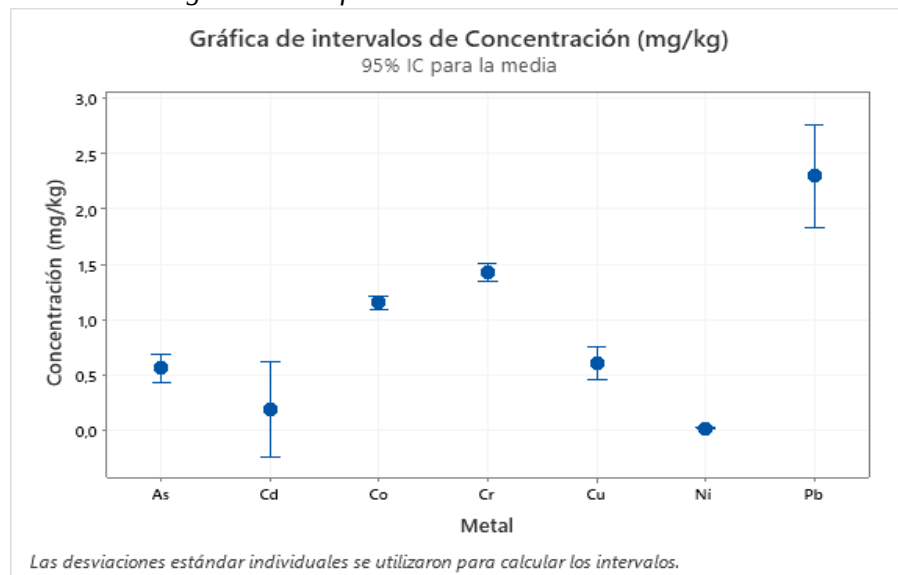
Según la figura 18, la cual describe los resultados obtenidos para objetivo específico I, se observa que las muestras estudiadas de la especie *Spinacia oleracea L.* evidenciaron presencia de todos los metales en estudio en tallo, hoja y raíz. Como se observa en la figura 17, el plomo (Pb) presenta la mayor concentración, seguido por el Cromo (Cr) y Cobalto (Co) en todos los órganos de la planta, mientras que el Níquel es el metal con menor concentración presente en la planta de espinaca cultivada en el municipio de Sibaté.

La raíz es la parte de la planta que presenta mayor concentración total de metales con 7,084 mg de metal/ kg de órgano (Tabla 8), donde el Plomo (Pb) es el metal con mayor concentración en el órgano (figura 17), con $2,652 \pm 0,063$ mg/kg, seguido del Cromo con $1,341 \pm 0,014$ mg/kg, por otro lado, el Níquel es el metal con menor concentración en el órgano con $0,017 \pm 0,001$.

El tallo presenta una concentración total de $6,283 \pm 0,2731$ (Tabla 8), donde el metal con mayor concentración es el Plomo (figura 17) con $2,443 \text{ mg/kg}$, seguida de Cromo con una concentración de $1,511 \pm 0,014 \text{ mg/kg}$, mientras que el metal con menor concentración en el órgano es el Cadmio con una concentración de $0,019 \pm 0,0001 \text{ mg/kg}$ (Tabla 8).

La menor concentración total de metales se encuentra la hoja con $5,335 \text{ mg/kg}$ (Tabla 8), donde el Plomo es el metal con mayor concentración de $1,796 \pm 0,125 \text{ mg/kg}$ (figura 18) en el órgano, seguido del Cromo que presenta una concentración del $1,412 \pm 0,028 \text{ mg/kg}$ y el metal con la menor concentración en el órgano es el Níquel con $0,012 \pm 0,002 \text{ mg/kg}$ (Tabla 8).

Figura 19. Gráfica de intervalos de Concentración.



Fuente: Autores, 2020.

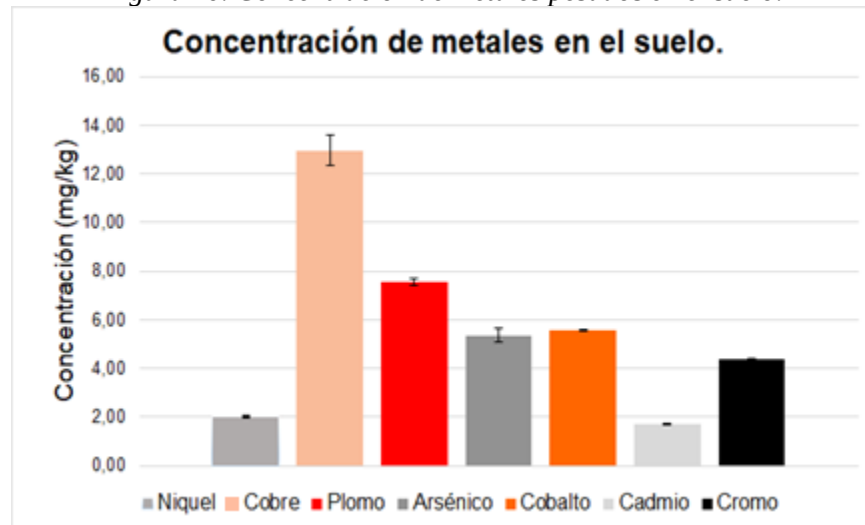
La estadística fue un papel fundamental en la obtención de los resultados anteriormente mencionados, por lo que se toman en cuenta la desviación estándar (figura 19), donde se presentan las desviaciones de cada uno de los metales en estudio (As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni y Pb), dichos valores indican la distancia que existe entre los datos obtenidos experimentalmente con respecto a la media. El Pb y Cd, presentan los mayores valores de desviación estándar, estos valores muestran la variabilidad de los valores, la cual es explicada por errores en la recolección, procesamiento o lectura de las muestras.

Según Cardozo Martínez & Vargas Peña, (2017) la subcuenca del embalse del Muña se caracteriza por poseer en su mayoría suelos del orden Andisol y otros órdenes como se menciona en el marco geográfico. La alta influencia de los depósitos de ceniza volcánica presentes en el municipio otorga a los suelos, fertilidad de moderada a alta y otras características como un pH ligeramente ácido y moderada saturación de Aluminio. En general en la cuenca del Río Bogotá los suelos son franco a franco arcillosos (Lora Silva & Bonilla Gutiérrez, 2010). Las características anteriormente mencionadas, relacionadas con la alta saturación de aluminio permite al suelo realizar intercambio catiónico (Lizarazo et al. 2020).

La transferencia de los metales del suelo al vegetal depende de propiedades fisicoquímicas del suelo como pH, la relación C: N, calidad microbiológica y la influencia de estos sobre el suelo, igualmente se consideran las propiedades fisicoquímicas de cada uno de los metales, generando

alteraciones en la concentración de metales en el suelo y la transferencia a las plantas (Gutiérrez, Zúñiga, Benavides, Ospina Salazar, & López Posso, 2016).

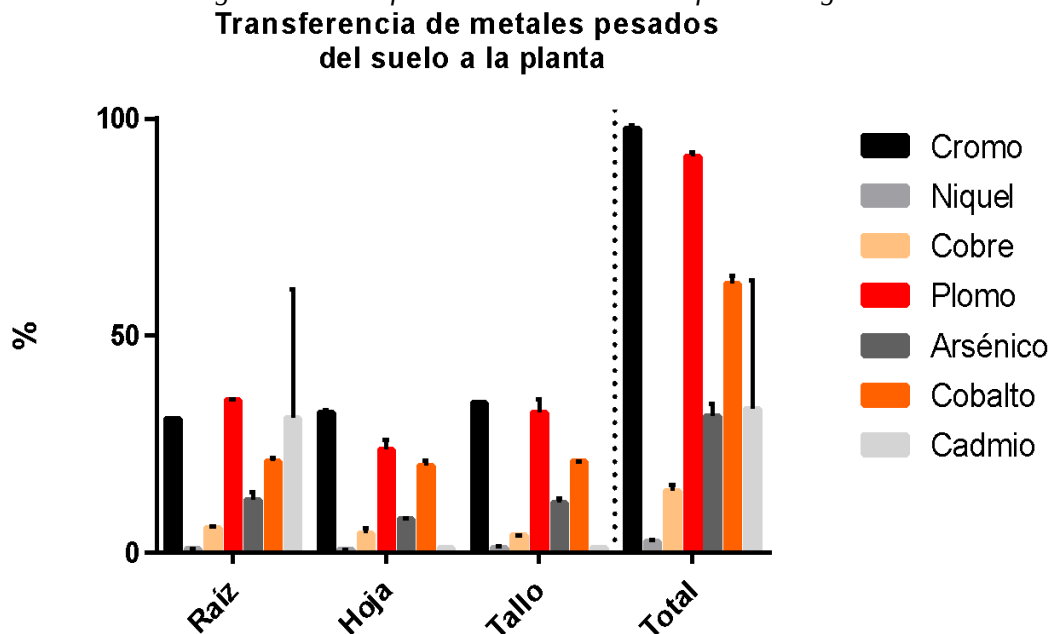
Figura 20. Concentración de metales pesados en el suelo.



Fuente: Autores, 2020.

En un estudio realizado por INGEOMINAS en el año 2004 resalta que los suelos con pH ácido, como es el caso de los suelos de Sibaté, pueden propiciar la existencia de fases móviles de Cu, Ni, Cd y Co, facilitando la migración a la fase acuosa y explica la baja concentración de los metales en la muestra recolectada en el municipio de Sibaté, como se observa en la *figura 20*. Aunque la presencia de material fino arcilloso en los suelos cumple la función de barrera, disminuyendo la movilidad de los metales anteriormente mencionados, lo que justifica las bajas concentraciones observadas en la muestra de Cu, Ni, Cd y Co (Vargas, Prieto, González, & Matamoros, 2004).

Figura 21. Transferencia del metal a los diferentes órganos.



Fuente: Autores.

Según la *figura 21*, la cual representa los resultados obtenidos para el objetivo II, se evidencia que los metales Cr, Pb y Co presentaron las tasas de transferencia más altas en la planta de *Spinacia oleracea* L. (espinaca). Por otro lado, la proporción de transferencia de metal fue muy variable para cada uno de los órganos de la hortaliza, el Plomo presenta el mayor porcentaje de transferencia en raíz y tallo, mientras que el Cromo presentó el mayor porcentaje de transferencia en la hoja.

Tabla 11. Correlación de Spearman a dos colas.

	Cromo	Níquel	Cobre	Plomo	Arsénico	Cobalto	Cadmio
Cromo		0,500	-1,000	-0,500	-0,500	-0,500	-0,500
Níquel	0,500		-0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
Cobre	-1,000	-0,500		0,500	0,500	0,500	0,500
Plomo	-0,500	0,500	0,500		1,000	1,000	1,000
Arsénico	-0,500	0,500	0,500	1,000		1,000	1,000
Cobalto	-0,500	0,500	0,500	1,000	1,000		1,000
Cadmio	-0,500	0,500	0,500	1,000	1,000	1,000	

Fuente: Autores, 2020.

Con el fin de encontrar correlaciones entre las concentraciones de los metales se realiza una prueba de correlación de Spearman a dos colas (*tabla 11*), en la cual se identifica una relación fuerte y directa entre As y Pb (r: 1,000), Co y Pb (r: 1,000), Pb y Cd (r: 1,000), As y Co (r: 1,000), As y Cd (r: 1,000) y Cd y Co (r: 1,000). De igual manera, se identificó una relación fuerte e inversa entre Cr y Cu (r: -1,000). La relación inversa presente entre el Cromo y Cobre se relaciona directamente con el pH del suelo esto se debe a que el Cu no es un elemento con movilidad iónica elevada en suelos ácidos (Lizarazo et al., 2020), como es el caso de la Sibaté, mientras que el Cromo es las condiciones mencionadas tiene un aumento en la disponibilidad del metal (Murcia Navarro, 2014). En cuanto a las relaciones fuertes y directas entre los metales indican una relación química positiva, donde la entrada de uno de ellos da lugar a que el otro metal pueda ingresar a la planta.

Según Murcia Navarro, (2014) el cromo no presenta una relación directa con las variaciones de pH, aunque las fracciones extraíbles, intercambiables y solubles presentaron una relación inversa con el pH, indicando que se tiene mayor movilidad en pH de valores bajos, debido a ello se presentan valores tan elevados de transferencia, teniendo en cuenta que los suelos de Sibaté son ligeramente ácidos, generando que el mayor porcentaje de transferencia se presentó en el tallo (34,576 %), seguido de la transferencia a la raíz (30,698%), según (Gun sé-Forcadell, 1987) la mayor parte de cromo es transportado de la raíz a la parte aérea de la planta es en forma Cr VI, presentando una estrecha relación con el transporte de hierro, indicando que las plantas que tienden a acumular Fe, acumulan Cr, demostrando que los mecanismos de transporte de estos metales son similares y tienden a bioacumularse en porciones similares en los diversos órganos de la planta.

Según Sinha y sus colaboradores (2007) en su artículo *Uptake and translocation of metals in Spinacia oleracea L. grown on tannery sludge-amended and contaminated soils: Effect on lipid peroxidation, morpho-anatomical changes and antioxidants*, mencionan el potencial de acumulación de Cromo en las hojas de la planta, lo que concuerda con la transferencia de 32% de

Cr a la hoja, Aunque en el estudio en mención se resalta un crecimiento saludable de las plantas.

El plomo presenta valores cercanos de transferencia para raíz (35,110 %) y tallo (32,290 %), lo que indica que los mecanismos de transferencia de la raíz al tallo son similares, a pesar de que algunos autores como Chaturvedi et al., (2019), Peláez-Peláez, Bustamante-Cano, & Gómez-López (2016) mencionan en sus estudios que gran parte de Pb absorbido es acumulado en las raíces, y en los tallos en caso de presentarse concentraciones muy altas, aunque presenta menores valores de bioacumulación en las hojas, con un porcentaje de transferencia de 23,818%, esto se debe a que el Pb forma complejos insolubles con los constituyentes de la pared celular de la planta, disminuyendo el traslado a las hojas.

De acuerdo con Chaturvedia, Favasb, Pratasc, Varunf, & Paul (2019) en su documento *Metal(lloid) induced toxicity and defense mechanisms in Spinacia oleracea L.: Ecological hazard and Prospects for phytoremediation*, y en relación con resultados obtenidos en la presente investigación la planta de *Spinacia oleracea L.* posee potenciales de fitorremediación, puesto que tiene la capacidad de absorber grandes concentraciones de Pb, por lo que se justifica la transferencia de 91,218%, aunque gran parte del Pb se transportan hasta la hoja generando un potencial riesgo para la salud de los consumidores.

El cobalto presenta una relación inversa con el pH, pues su disponibilidad aumenta a medida que el pH disminuye facilitando la transferencia del suelo a cada uno de los órganos. El Co es transportado en las plantas principalmente por el flujo transpiracional del xilema generando un distribución específica de los metales en los órganos de la planta, en forma tal que se presenta un gradiente que decrece de las raíces a los tallos y hojas, como se evidencia en los porcentajes de transferencia donde se tiene una transferencia de 20,993% en raíz, 20,926 % en tallos y 19,972% en hojas, no se presenta un elevado gradiente de raíz a tallo y hojas debido a la baja movilidad del cobalto en el sistema de la espinaca (Pérez-Espinosa, 1997).

El Cadmio, no se considera un elemento esencial para la planta, por lo que no se tiene un mecanismo de entrada definida, aunque se conocen algunas sustancias que permiten al Cd la entrada a la célula siendo el caso de los transportadores de metales esenciales de Fe, Zn y Ca, como el LCT1, proteína IRT1, pequeñas proteínas ricas en cisteína (metalotioníedadas). El Cd como se evidencia en *figura 20*, presenta una elevada transferencia en la raíz de la espinaca (30,842%) donde sustancias como las barreras apoplásticas y quelación en vacuolas se encargan de realizar el secuestro de Cd en la raíz, posteriormente solo una pequeña fracción de los metales es transportada a los órganos aéreos de la planta, con ayuda del xilema y el floema el metal es transportado a los demás órganos, para el caso de la espinaca se evidencia una reducción en la transferencia de tallo de 1,097% y hojas con 1,029 %, evidenciando una concentración decreciente (Hernández-Baranda, Rodríguez-Hernández., Pena-Icart, Meriño-Hernández & Cartaya-Rubio, 2019; Rodríguez-Serrano, Martínez-de la casa, Romero-Puertas, del Río & Sandalio, 2008).

Según lo mencionado por Chaturvedia et al. (2019), la planta de espinaca tiene capacidad de acumular grandes concentraciones de Cd, caso contrario se evidenció en el presente estudio, puesto que el Cd presenta un porcentaje de transferencia de 32,967%, aunque esta diferencia se puede deber a posibles errores humanos o en la calibración de los equipos.

El arsénico es transferido a las plantas principalmente a través de las raíces, aunque la capacidad de absorción y acumulación es menor en las plantas de los suelos que en las plantas de los humedales. Debido a que este metal no es fundamental, no se conoce un mecanismo de entrada a

la planta, aunque como sucede con muchos metales, el As se acumula principalmente en la raíz, por lo que presenta el mayor porcentaje de transferencia de todos los órganos (12,062%), seguido por el tallo (11,526%), donde se presenta una transferencia similar a la raíz, aunque se presenta una menor transferencia a las hojas de la espina (7,832%), indicando que la mayor parte del metal se acumula en los órganos más bajos de la planta. El As en su forma inorgánica, con la ayuda de proteínas transportadores tiene mayor movilidad en la planta, además de su relación químicamente análoga con el fósforo inorgánico (Pi), por lo que el As hace uso de los canales de entrada del Pi y Silicio (Si) a la célula, lo cual depende de la forma inorgánica en que se encuentra el As en el suelo (Abbas et al., 2018).

El Cobre, por el contrario de muchos de los metales anteriormente mencionados, cumple funciones metabólicas en la pared celular y bioquímicas en las plantas, que involucran el transporte de electrones, cloroplastos y mitocondrias, por lo que el Cu se distribuye libremente por el floema de los órganos con mayor edad de formación a los de menor edad (Sancho-Lozano, 2016), la única vía para llegar al tejido vascular es a través de la membrana plasmática, esto sucede con ayuda de una familia de proteínas llamado COPT (Villegas-Torres, Domínguez-Patiño, Martínez-Jaimes & Aguilar-Cortes, 2015). La espinaca presenta mayor transferencia en dos órganos principalmente raíz (5,743%) y hojas (5,075%), indicando que el tallo es un órgano que principalmente realiza el transporte del metal a las hojas, aunque bioacumula un 4,147% del Cu presente en los suelos.

El Níquel es el metal en estudio con menor transferencia de suelo a la planta (2,524%), esto se debe a las bajas concentraciones del mismo en el suelo, aunque al encontrarse en un suelo con valores de pH bajos se incrementa la absorción de Ni en la planta, la cual es realizada a través de las raíces por difusión pasiva y transporte activo, haciendo uso de la vía de absorción del hierro mediante el transportador primario del Fe (At1RT1), aunque en algunos estudios se menciona que gran parte del Ni se almacena en las raíces (Villegas-Torres et al., 2015), en el caso de la espinaca el mayor valor de transferencia se encuentra en el tallo (1,120%), posiblemente a que este órgano es la parte que permite el paso de los metales de la raíz a las hojas de la planta, donde se presentó una transferencia de 0,843% y 0,561 % respectivamente.

Respecto a los resultados del objetivo III (Tabla 10), es posible identificar que la concentración de cromo en el tallo de la *Spinacia oleracea* L (espinaca), sobrepasa los límites permitidos establecidos por la normatividad de Chile y de China, en 1.411 mg/Kg y 1.011 mg/Kg respectivamente. Por otro lado, la concentración de metal encontrada en la hoja de la *Spinacia oleracea* L (espinaca), sobrepasa los límites permisibles de las normas anteriormente mencionadas, para este caso sobrepasa el límite para Chile en 1.312 mg/Kg y para China 0.912 mg/ kg.

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede decir que la concentración de cromo encontrada en el tallo y en la hoja son perjudiciales para la salud, pues el Cromo (Cr) es considerado un compuesto tóxico, y la ingesta de dicho metal en altas concentraciones, puede acarrear enfermedades como: anemia, fallo renal, niveles bajos de trombocitos en sangre, hemólisis o ruptura de glóbulos rojos y problemas hepáticos (Téllez, Carvajal Roxs & Gaitán, 2004.).

Es importante recordar que el cromo puede estar presente en los ecosistemas de forma natural y antrópica, de manera antrópica se les atribuye a las industrias que usan este metal en su proceso productivo, y no le dan un buen tratamiento antes de verter el agua a un efluente hídrico, adicionalmente, dicho metal puede estar presente en los ductos de las cañerías (Molina et. al. 2010)

El cobre encontrado tanto en el tallo como en la hoja de la *Spinacia oleracea* L (espinaca) se

encuentra de los límites permitidos establecidos en la normatividad de Chile e India, es decir, el consumo de espinaca no representa riesgo alguno respecto al Cobre (Cu), sin embargo, no se puede descuidar y se deben seguir haciendo análisis respecto al mismo.

Por otro lado, se encontró que la concentración del tallo de la *Spinacia oleracea L.* (espinaca) en cuanto al Plomo (Pb) sobrepasa los límites permisibles establecidos en la normatividad de Colombia y de la Unión Europea por 2,243 mg/ Kg para las dos normativas y para la normatividad de Chile, China y el código alimentario, sobrepasa los límites en 2,143 mg/Kg. Igualmente pasa con las concentraciones encontradas en la hoja de la *Spinacia oleracea L* (espinaca) para la normatividad de Colombia y la Unión Europea excede el límite por 1.696 mg/Kg y para Chile, China y el código alimentario lo excede por 1.496 mg/Kg.

En virtud de lo anterior, las concentraciones obtenidas para la muestra de la *Spinacia oleracea L.* (espinaca) evidencian que las mismas representan un riesgo para la salud de los humanos, pues según Rubio et al. (2004), los adultos pueden absorber el 10 % del Plomo y los niños el 50 % del mismo, desencadenando las siguientes enfermedades: anorexia, dispepsia, estreñimiento, anemia, punteado basófilo, encefalopatía, albuminuria, hematuria, cilindros en la orina, anormalidades del ciclo ovárico, infertilidad, aborto espontáneo, alteraciones en los espermogramas, lo anterior respecto a los adultos, en los niños puede ser el causante de macrocefalia, poco peso, alteraciones del sistema nervioso.

Las concentraciones presentadas, pueden atribuírsele a que el plomo y todas las sustancias derivadas de este se encuentran presentes en el aire, plantas, animales, agua (ríos, océanos y lagos), polvo y suelo (Rubio, et al. 2004), dando lugar a que los cultivos se encuentran altamente expuestos a crecer en suelos contaminados con Plomo. Las concentraciones presentadas no solo pueden ser perjudiciales para la salud, sino que también perjudican la productividad del cultivo, según Blanco, y sus colaboradores (2017) la presencia de este metal en altas concentraciones puede producir inhibición en procesos como la germinación, crecimiento de plántulas, raíces y tallos.

Por otra parte, las concentraciones obtenidas en el tallo de la *Spinacia oleracea L* (espinaca) para el metal Arsénico (As) sobrepasan los límites máximos establecidos en la normatividad de Chile, China e India en 0,416 mg/Kg, 0,116 mg/Kg y 0,516 respectivamente. A su vez las concentraciones en la hoja de la *Spinacia oleracea L* (espinaca) sobrepasan los límites de la normatividad de Chile e India en 0,22 mg/Kg y 0,32 mg/Kg respectivamente, para este caso si está dentro de los límites permisibles en China.

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente y las concentraciones encontradas, solo una se encuentra por debajo del rango, se puede decir, que en lo que se refiere a las concentraciones de Arsénico también es posible establecer que las mismas traen consecuencias a la salud, pues el consumo en exceso de Arsénico, puede dejar como consecuencia las siguientes enfermedades: neuropatía, pérdida de aprendizaje, deterioro de la memoria a corto plazo, alteración de la velocidad psicomotora, diabetes, aterosclerosis y cáncer de piel (Mohammed, Jayasinghe, Chandana, Jayasumana, & De Silva, 2015).

Las concentraciones encontradas de As pueden atribuírsele a la presencia de este en cuerpos de agua contaminados (embalse del Muña), suelo (Cultivo) y también puede encontrarse en la corteza terrestre (Ramírez, 2013).

En cuanto al Cadmio, es posible decir que tanto la concentración encontrada para el tallo y la hoja de la *Spinacia oleracea L* (espinaca) están dentro de los límites permisibles de las normas de

Colombia, Unión Europea, India, China y el Codex alimentario, es decir, no representa un riesgo grande para la salud pública.

Finalmente, las concentraciones obtenidas de hoja y tallo de la *Spinacia oleracea L* (espinaca) para los metales de Níquel (Ni) y Cobalto (Co) no fue posible compararlas con ninguna normatividad, pues de las consultadas, ninguna establece los límites máximos de los mismos.

Por otro lado, se realizó una comparación entre los resultados obtenidos en el artículo y la presente investigación “CONTAMINATION OF STAPLE CROPS BY HEAVY METALS IN SIBATÉ, COLOMBIA” (Lizarazo et al., 2020), específicamente de las concentraciones de los diferentes metales presente en el suelo de Sibaté, de lo cual se pudo observar lo siguiente:

En las dos investigaciones la concentración de cobre es la más alta respecto a los otros metales, sin embargo, existe una gran diferencia de concentraciones entre la tesis investigada y la presente tesis, pues se tiene una concentración de 389,76 mg/Kg y otra de 17,5771 mg/Kg respectivamente, lo anterior puede deberse al cambio de predio donde fue tomada la muestra o a la cercanía de este con el Embalse del Muña.

Con el resto de los metales, no es posible establecer un patrón o realizar una comparación, debido a que la diferencia de concentraciones es muy alta, además de que no se presenta un patrón al momento de realizar una escala de concentraciones para los metales que presentan mayor concentración y menor concentración. Es posible decir, que la diferencia de resultados puede deberse a la ubicación de la toma de muestras, o a posibles errores humanos al momento de ejecutar los laboratorios.

Así mismo se hizo una comparativa entre los alimentos, aunque son diferentes, son cultivados en la misma área de influencia y se obtuvo que los 4 alimentos, Zanahoria, Alcachofa, perejil (estudiados en la tesis Cuantificación de metales pesados en hortalizas producidas en la cuenca media del río Bogotá, Sibaté) y espinaca (estudiada en la presente tesis) sobrepasan los límites máximos permisibles de la normatividad nacional e internacional para Cromo, Plomo y Arsénico.

10. Conclusiones.

El tallo y hoja de las muestras de espinaca recolectada en el municipio de Sibaté presenta mayor concentración de los metales de Plomo, Cromo y Cobalto, las cuales se deben al potencial de acumulación de metales que presenta la planta de espinaca.

La ingesta del Pb, Cr y Co en las concentraciones encontradas en los órganos comestibles puede generar problemas de salud pública a largo plazo, además nos indica que la muestra colectada no es un alimento inocuo y esto se debe a la baja calidad de los suelos donde se cultiva esta especie.

Los porcentajes de transferencia fueron muy variables, por ende, no se puede decir con exactitud a qué órgano de la planta llega el mayor porcentaje de los metales. Sin embargo, el metal con mayor porcentaje de transferencia total fue el Cromo con 97,587%, seguido por el Plomo (Pb) con una transferencia de 91,218%. Los porcentajes anteriormente mencionados se encuentran directamente relacionados con el pH de los suelos de Sibaté y con las relaciones que presentan el Cr con elementos esenciales como el Fe.

La disponibilidad y concentración de metales como As, Cr, Ni, Cu, Cd y Co se ven favorecidas por las características fisicoquímicas (pH, textura, capacidad de intercambio catiónico) que

presenta el suelo de Sibaté.

La concentración encontradas en el tallo y la hoja de la espinaca del Cromo, Plomo y Arsénico son los que sobrepasan los límites máximos establecidos por la normatividad nacional e internacional, según el caso, causando enfermedades como anemia, fallo renal, niveles bajos de trombocitos en sangre, hemólisis o ruptura de glóbulos rojos, anorexia, dispepsia, estreñimiento, anemia, punteado basófilo, encefalopatía, albuminuria, hematuria, cilindros en la orina, anormalidades del ciclo ovárico, entre otras.

El mercurio es un metal de interés para estudiar en los alimentos, debido a la problemática que se presenta en los cuerpos de agua de Colombia por la contaminación del Mercurio, aunque para el presente estudio no se pudo evaluar por la ausencia de los instrumentos de absorción atómica para evaluar su concentración en la planta de espinaca.

11. Recomendaciones.

Se recomienda la inclusión de todos los metales pesados tanto en la normatividad nacional como internacional, específicamente al Codex Alimentarius, pues este es la línea base para la creación de la normativa de alimentos de muchos países. Esto con el fin de determinar la inocuidad alimentaria de todos los productos producidos en un país, para asegurar la calidad de alimentos producidos por los colombianos.

Los mecanismos de transferencia de suelo a planta, para el Níquel y el Cobalto no se encuentran muy bien definidos, lo cual puede ser una temática para estudiar en futuras investigaciones.

Evaluar los porcentajes de transferencia y la acumulación de otros metales pesados en la planta de espinaca, puesto que esta especie puede tener un elevado potencial de fitorremediación para los suelos contaminados por los metales pesados.

Se sugiere fomentar estudios en el área de influencia del Embalse del Muña, los cuales sirvan de guía para elaborar una normatividad completa que reglamente los alimentos frescos en Colombia, además de aportar en la delimitación de zonas aptas y no aptas para cultivar, con el fin de realizar una mejor planificación de las actividades económicas del municipio.

Es pertinente y necesario realizar capacitaciones a los cultivadores de Sibaté, acerca de las implicaciones económicas, sociales y ambientales que conlleva cultivar en zonas cercanas a cuerpos de agua contaminada y el riego de los cultivos con agua proveniente del embalse del Muña, para el caso de Sibaté.

Es fundamental informar a la comunidad y las autoridades pertinentes los resultados obtenidos, adicionalmente planificar con las autoridades un plan de mejora que permita subsanar poco a poco el daño hecho en el suelo, el cual posteriormente afectará la alimentación de los colombianos.

Es necesario realizar una revisión bibliográfica donde se relacionan el estado de los alimentos cultivados en Sibaté, en base a los estudios realizados anteriormente por los estudiantes del docente Oscar Eduardo Rodríguez.

Teniendo en cuenta el enfoque biopsicosocial y lo aprendido durante la carrera, es necesario realizar cambios en modelos agrícolas desarrollados en el municipio de Sibaté, sin embargo, se debe tener presente las opiniones de los cultivadores, por ello se propone realizar cambios en las

normativas y mecanismos de cultivos a nivel municipal, considerando las variables social, económica y ecológica, que interactúan en cada ecosistema. Con el fin de brindar herramientas suficientes para lograr un cambio significativo en la calidad de los alimentos cultivados y consumidos por los colombianos.

12. Bibliografía

- Abbas, G., Murtaza, B., Bibi, I., Shahid, M., Niazi, N. K., Khan, M. I., Amjad, M., Hussain, M., & Natasha. (2018). Arsenic uptake, toxicity, detoxification, and speciation in plants: Physiological, biochemical, and molecular aspects. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(59), 1–45.
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, A. (2005). Níquel. In Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE. UU. 1–8. Recuperado el 08 de septiembre de 2019.
- Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (21 de diciembre de 2011): Por medio del cual se adopta la Política Distrital de Salud Ambiental para Bogotá, D.C. 2011-202. [Decreto 596 de 2011].
- Alcaldía de Sibate. (2016a). *Información del municipio*. Alcaldía Municipal de Sibate. Recuperado el 23 de septiembre de 2019. <http://www.sibate-cundinamarca.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx>
- Alcaldía de Sibate. (2016b). *Economía*. Municipal de Sibate. Recuperado en 23 de septiembre de 2019. <http://www.sibate-cundinamarca.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Economia.aspx>
- Azcona, M. I., Ramírez, R. & Vicente, G. (2015). TOXIC EFFECTS OF LEAD. *Rev Esp. Med Quir*, 20: 72–77.
- Banerjee, N., Banerjee, S., Sen, R., Bandyopadhyay, A., Sarma, N., Majumder, P., Das, J. K., Chatterjee, M., Kabir, S. N., & Giri, A. K. (2009). Chronic Arsenic Exposure Impairs Macrophage Functions in the Exposed Individuals. *Journal of Clinical Immunology*, 29: 582–594.
- Blanco, A., Salazar, M. J., Vergara Cid, C., Pignata, M. L., & Rodriguez, J. H. (2017). Accumulation of lead and associated metals (Cu and Zn) at different growth stages of soybean crops in lead-contaminated soils: food security and crop quality implications. *Environmental Earth Sciences*, 76(4): 182–194.
- Burgos, G. F. (2019). *Ecología y salud* (4a edición ed.). México: El Manual Moderno S.A. Capítulo 12. Metales pesados tóxicos.
- Buha, A., Jugdaohsingh, R., Matovic, V., Bulat, Z., Antonijevic, B., Kerns, J. G., Goodship, A., Hart, A., & Powell, J. J. (2019). Bone mineral health is sensitively related to environmental cadmium exposure- experimental and human data. *Environmental Research*, 176: 1-10.
- Cámara de Comercio de Bogotá. (2015). Manual: Espinaca. *Cámara de Comercio de Bogotá*, 1–52. Recuperado el 16 de abril de 2020.
- CAR. (2006). *Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Bogotá*. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, 1-104. Recuperado en 23 de octubre de 2019.
- Cardozo Martínez, L. A., & Vargas Peña, Y. A. (2017). *Evaluación de la contaminación en el suelo por plomo y cromo y planteamiento de alternativa de remediación en la represa del Muña*,

- municipio de Sibaté-Cundinamarca* (Vol. 1, Issue 1). Tesis de grado. Bogotá, Colombia: Universidad de la Salle.
- Chaturvedi, R., Favas, P. J., Pratas, J., Varun, M., & Paul, M. S. (2019). Metal(loid) induced toxicity and defense mechanisms in *Spinacia oleracea* L.: Ecological hazard and Prospects for phytoremediation. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 183: 1-9.
- Chowdhury, S., & Saha, P. Das. (2011). Biosorption kinetics, thermodynamics and isosteric heat of sorption of Cu (II) onto Tamarindus indica seed powder. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 88(2): 697–705.
- Colmenares, H., & Torres, V. (2012). *Evaluación de contaminación en agua, suelo y sedimentos, asociada a plomo y cadmio en la subcuenca embalse del Muña, Río Bogotá*. Tesis de pregrado. Bogotá D.C, Colombia: Universidad de la Salle.
- Combariza Bayona, D. A. (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*. Tesis de pregrado. Bogotá D.C, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Congreso de la república de Colombia. (9 de enero de 2007). Por la cual se hacen algunas modificaciones en el Sistema General de Seguridad Social en Salud y se dictan otras disposiciones [Ley N° 1122]
- Cuberos, E., Rodriguez, A. I., & Prieto, E. (2009). Niveles de Cromo y Alteraciones de Salud en una Población Expuesta a las Actividades de Curtiembres en Bogotá, Colombia. *Revista de Salud Pública*, 11(2): 278–289.
- DANE. (2018). *Análisis de información CNPV 2018^{PR} en Cundinamarca*. Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas. Recuperado el 16 de octubre de 2019, <https://www.dane.gov.co/files/censo2018/informacion-tecnica/presentacion-CNPV-2018-Cundinamarca.pdf>
- Doñate, M. T. (2013). *Efecto de diferentes enmiendas orgánicas sobre el rendimiento y la concentración de Nitrato en un cultivo ecológico de Espinaca (Spinacia oleracea L.) en invernadero*. Tesis magíster. Bahía Blanca, Argentina: Universidad Nacional del Sur.
- Duda-Chodak, A., & Blaszczyk, U. (2008). The impact of Nickel on human Health. *Journal of Elementol*, 13(4): 685–696.
- Epstein, L. (2017). *Seguridad alimentaria en Colombia*. Asociación Ambiente y sociedad, 1-19. Recuperado el 03 de octubre de 2019. Retrieved from <https://www.ambienteysociedad.org.co/wp-content/uploads/2017/02/Seguridad-Alimentaria-leyes-Colombia.pdf>
- Espinoza García, S. (2016). *Bioacumulación y biomagnificación de Cd, Hg y Pb, en Mustelus henlei (Gill, 1863) de la costa Suroccidental de Baja California Sur*. Tesis de maestría. La Paz, México: Instituto Politécnico Nacional: Centro interdisciplinario de ciencias marinas.
- FAO. 1995. Norma general del CODEX para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos. Organización Mundial de la Salud. Recuperado en octubre 10 de 2019. Obtenida de: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/livestockgov/documents/CXS_193s.pdf

- FAO. (2002). La comisión del Codex Alimentarius. In *Manual de capacitación sobre higiene de los alimentos y sobre el sistema de Análisis de Peligros y de Puntos Críticos de Control (APPCC)*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 51–55. Recuperado en 16 de febrero de 2020. Obtenida de <http://www.fao.org/docrep/005/w8088s/w8088s00.htm>
- FAO. (2020). *Información general*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado en 16 de febrero de 2020. Obtenida de <http://www.fao.org/unfao/procurement/general-information/es/>
- Fao, & MinSalud. (2013). Perfil nacional de consumo de frutas y verduras. In *Fao*.
- Feoktistova, L., & Clark Feoktistova, Y. (2018). El metabolismo del cobre. Sus consecuencias para la salud humana. *Medisur*, 16(4): 579–587.
- Fierro Sáenz, P. A., Forero Martínez, J., & Forero Moreno, K. S. (2019). *Evaluación de los impactos ambientales asociados a la oferta y demanda hídrica de la cuenca alta del Río Bogotá*. Tesis de pregrado. Bogotá D.C, Colombia: Universidad Cooperativa de Colombia.
- Figueroa, S. (2012). Introducción a la salud pública. *Universidad de San Carlos*, 1-23. Recuperado en 12 de septiembre de 2020, <http://www.saludpublicayepi.files.wordpress.com/2012/06/documento-3er-parcialcompilacion-4-documentos.pdf>.
- Funeme Mayoral, C. N. (2017). *Análisis de la calidad del Embalse del Muña para su posible tratamiento*. Tesis de pregrado. Bogotá D.C, Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Galindo Triana, G. (2015). *Hábitos de consumo de frutas y hortalizas en personas de 15 a 39 años, habitantes de Bogotá*. Tesis de Pregrado. Bogotá D.C, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Gobernación de Cundinamarca. (2018). *Línea Base Objetivos de Desarrollo Sostenible Departamento de Cundinamarca y Provincias*. Gobernación de Cundinamarca, 1-150, <https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/L%25C3%258DNEA%2520BASE%2520OBJETIVOS%2520DE%2520DESARROLLO%2520SOSTENIBLE%2520DEPARTAMENTO%2520DE%2520CUNDINAMARCA%2520Y%2520PROVINCIAS%20%281%29.pdf>
- Guapás Baldeón, M. B. (2013). *Respuesta de la espinaca (Spinacea oleracea) a la fertilización foliar complementaria con tres biofermentos Puembo, Pichincha*. Tesis de pregrado. Quito, Ecuador: Universidad Central del Ecuador.
- Gunsé-Forcadell, B. (1987). *Efectos del Cromo sobre la nutrición y relaciones hídricas de Phaseolus vulgaris*. Tesis de grado. Bellaterra, Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona.
- Gutiérrez C, M. A., Zúñiga E, O., Benavides, J. A., Ospina Salazar, D. I., & López Posso, P. G. (2016). Evaluation of Heavy Metal Content on a Sodic Soil Treated with Bio-waste. *Revista de Ciencias*, 20(1), 11–26.
- Hayaty Nejad, J., Mohamadi Sani, A., & Hojjatoleslami, M. (2014). Sensory acceptability and quality of flavored yogurt enriched with *Spinacia oleracea* L. Extract. *Nutrition & Food Science*, 44(3): 182–192.

- Huertas Ortigoza, S. (2018). *Determinación de la cantidad de Plomo (II) presente en fresas frescas provenientes de la vereda la Unión en el municipio de Sibaté en Cundinamarca- Colombia, por medio de voltametría de onda cuadrada (SWV)*. Tesis de pregrado. Bogotá D.C, Colombia: Universidad Santo Tomás.
- IDEAM. (2010a). *Ácido clorhídrico: Usos, Aplicaciones Y Sobre, Efectos Salud*, IDEAM, 51–64. Recuperado en 16 de marzo de 2020, Retrieved from: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018903/Links/Guia2.pdf>
- IDEAM. (2010b). *Ácido nítrico*, IDEAM, 65–78. Recuperado en 16 de marzo de 2020, Retrieved from <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018903/Links/Guia3.pdf>
- Ince, M., Kaplan Ince, O., & Onal, A. (2020). Exposure to copper and risk assessment for human health via consumption of alcoholic beverages. *Journal of Food Science and Technology*: 1-10.
- Instituto Nacional de salud & Observatorio Nacional de salud. (2018). *Carga de enfermedad ambiental: Décimo informe Técnico*. Instituto Nacional de Salud, 1-177. Recuperado en 15 de mayo de 2020, Retrieved from: <https://www.ins.gov.co/Direcciones/ONS/Informes/10%20Carga%20de%20enfermedad%20ambiental%20en%20Colombia.pdf>
- Jaller R, S. (2010). AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN FAO Análisis de los sistemas de producción agrícola de las Provincias de Soacha y Sumapaz (Cundinamarca) Documento de trabajo. In FAO (pp. 1–120). FAO. https://coin.fao.org/coin-static/cms/media/5/12833581121450/sistemas_cundinamarca.pdf
- Jaramillo, J. D., Llano Sanchez, L. E., & Villazon Amaris, H. (2006). Estructura cristalina del cobre, propiedades macroscópicas mecánicas y de procesamiento. *Ciencia e ingeniería Neogranadina.*, 16(2): 96–103.
- Jiménez, J., Arias, L., Espinosa, L., Fuentes, L., Garzón, C., Gil, R., Niño, N., & Rodríguez, M. (2010). *El cultivo de la espinaca (Spinacia oleracea L.) y su manejo fitosanitario en Colombia*. Universidad de Bogotá, Jorge Tadeo Lozano: 1-42.
- Junqué, E., Grimalt, J. O., Fernández-Somoano, A., & Tardón, A. (2020). Urinary cobalt and ferritin in four-years-old children. *Environmental Research*, 183: 1-5
- Klotz, K., & Göen, T. (2017). Human Biomonitoring of Lead Exposure. In A. Sigel, H. Sigel, & Sigel, K. O., R Sigel (Eds.). *Lead – Its Effects on Environment and Health* (99–121). Alemania: De Gruyter.
- Linhares, D., Pimentel, A., Borges, C., Cruz, J. V., Garcia, P., & dos Santos Rodríguez, A. (2019). Cobalt distribution in the soils of São Miguel Island (Azores): From volcanoes to health effects. *Science of The Total Environment*, 684: 715–721.
- Lizarazo, M. F., Herrera, C. D., Celis, C. A., Pombo, L. M., Teherán, A. A., Piñeros, L. G., Forero, S. P., Velandia, J. R., Díaz, F. E., Andrade, W. A., & Rodríguez, O. E. (2020). Contamination of staple crops by heavy metals in Sibaté, Colombia. *Heliyon*, 6, 1–10.
- Londoño Franco, L. F., Londoño Muñoz, P. T., & Muñoz García, F. G. (2016). Los Riesgos De Los Metales Pesados En La Salud Humana Y Animal. *Bio Tecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2): 145-153.

- López Amaro, M. Á. (2008). *Higiene, inspección y control de alimentos: historia, presente y futuro*. Universidad de Córdoba, 1-14. Recuperado en 25 de octubre de 2019, retrieved from. [http://www.uco.es/nutybro/docencia/higiene/documentos/historia web.pdf](http://www.uco.es/nutybro/docencia/higiene/documentos/historia%20web.pdf)
- Lora Silva, R., & Bonilla Gutiérrez, H. (2010). Remediación de un suelo de la cuenca alta del Río Bogotá contaminado con los metales pesados Cadmio y Cromo. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 13(2), 61–70.
- Luo, J., Zhu, T., Wang, X., Cheng, X., Yuan, Y., Jin, M., Betancor, M. B., Tocher, D. R., & Zhou, Q. (2020). Toxicological mechanism of excessive copper supplementation: Effects on coloration, copper bioaccumulation and oxidation resistance in mud crab *Scylla paramamosain*. *Journal of Hazardous Materials*, 395: 1-10
- Medina-Pizzali, M., Robles, P., Mendoza, M., & Torres, C. (2018). Ingesta de arsénico: el impacto en la alimentación y la salud humana. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 35(1): 93-102.
- Merck. (2020). *Sistema de purificación de agua Milli-Q® Reference*. Recuperado en 15 de junio de 2020, retrieved from https://www.merckmillipore.com/CO/es/product/Milli-Q-Reference-Water-Purification-System,MM_NF-C79625
- Ministerio de Salud. (2020a). *Salud ambiental*. Ministerio de Salud. Recuperado en 15 de junio de 2020, <https://www.minsalud.gov.co/salud/publica/ambiental/Paginas/Salud-ambiental.aspx>
- Ministerio de Salud. (2020). *Salud Pública*. Ministerio de Salud. Recuperado en 15 de junio de 2020, <https://www.minsalud.gov.co/salud/publica/Paginas/salud-publica.aspx>
- Ministerio de salud (2020c). *Calidad e inocuidad de alimentos*. Ministerio de Salud. Recuperado en 13 de septiembre de 2020, <https://www.minsalud.gov.co/salud/Paginas/inocuidad-alimentos.aspx>.
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2013). *Salud Pública, Calidad e Inocuidad de Alimentos*. In Min Salud, 1–2. Recuperado en 13 de septiembre de 2020, [https://www.minsalud.gov.co/salud/Documents/general-temp-jd/LA INOCUIDAD DE ALIMENTOS Y SU IMPORTANCIA EN LA CADENA AGROALIMENTARIA.pdf](https://www.minsalud.gov.co/salud/Documents/general-temp-jd/LA%20INOCUIDAD%20DE%20ALIMENTOS%20Y%20SU%20IMPORTANCIA%20EN%20LA%20CADENA%20AGROALIMENTARIA.pdf)
- Miranda, D., Carranza, C., Rojas, C. A., Jerez, C. M., Fischer, G., & Zurita, J. (2008). Acumulación de metales pesados en suelo y plantas de cuatro cultivos hortícolas, regados con agua del río Bogotá. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 2(2): 180–191.
- Molina, N., Aguilar, P., & Cordovez, C. (2010). Plomo, cromo III y cromo VI y sus efectos sobre la salud humana. *Ciencia y Tecnología Para La Salud Visual y Ocular*, 8(1): 77–88.
- Mohammed, K. S., Jayasinghe, S. S., Chandana, E. P. S., Jayasumana, C., & De Silva, P. M. C. S. (2015). Arsenic and human health effects: A review. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 40(3): 828–846.
- Moreno Mariño, Y. L., García Colmenares, J. M., & Chaparro Acuña, S. P. (2016). Cuantificación voltamétrica de plomo y cadmio en papa fresca. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 19(1): 97–104.
- Mu, Y., Feng, Y., Wei, L., Li, C., Cai, G., & Zhu, T. (2020). Combined effects of ultrasound and aqueous chlorine dioxide treatments on nitrate content during storage and postharvest storage quality of spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Food Chemistry*, 333, 1-7.

- Murcia Navarro, F. J. (2014). Caracterización del contenido en cromo, su disponibilidad y sus interacciones con las propiedades del suelo para evaluar el potencial uso de la fitoextracción. *Congreso Nacional de Medio Ambiente.*, 1–13.
- Natasha, Shahid, M., & Khalid, S. (2020). Foliar application of lead and arsenic solutions to *Spinacia oleracea*: biophysicochemical analysis and risk assessment. *Environmental Science and Pollution Research*. Recuperado en 15 de marzo de 2020, <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06519-7>.
- Naz S., Akbar M., Akthar S. (2015). Monitoring of Growth, Yield, Biomass and Heavy Metals Accumulation in Spinach Grown under Different Irrigation Sources. *International Journal of Agriculture and Biology*, 18(4): 689-697.
- Niño Bernal, I. D. (2015). Cuantificación de cadmio en cacao proveniente del occidente de Boyacá por la técnica analítica de voltamperometría. Tesis de pregrado. Tunja, Colombia: Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia.
- Olivares Arias, V., Valverde Som, L., Quiros Rodríguez, V., García Romero, R., Muñoz, N., Navarro Alarcón, M., & Cabrera Vique, C. (2014). Níquel en alimentos y factores influyentes en sus niveles, ingesta, biodisponibilidad y toxicidad: una revisión. *CyTA - Journal of Food*, 13(1): 87–101.
- OMS. (2019). *Exposure to cadmium: a major public health concern*. Preventing Disease Through Healthy Environments. *Organización Mundial de la Salud*, recuperado en 22 de octubre de 2019, <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/329480/WHO-CED-PHE-EPE-19.4.3-eng.pdf?ua=1>
- ONU. (2020). *¿Qué es la inocuidad alimentaria?* Día Mundial de La Inocuidad de Los Alimentos -7 de junio. Organización de las Naciones Unidas. Recuperado en 15 de abril de 2020, <https://www.un.org/es/observances/food-safety-day>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2020). Inocuidad alimentaria. Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura. Recuperado en 15 de abril de 2020, retrieved from <http://www.fao.org/food-safety/es/>
- Organización Mundial de la Salud. (2018). *Arsénico*. Organización mundial de la Salud. Recuperado en 22 de marzo de 2020, retrieved from <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>
- Organización Mundial de la Salud. (2020). *Salud Ambiental*. Organización Mundial de la Salud. Recuperado en 12 de septiembre de 2020, retrieved from https://www.who.int/topics/environmental_health/es/#:~:text=La%20salud%20ambiental%20est%C3%A1%20relacionada,ambientes%20propicios%20para%20la%20salud.
- Pandey, S. N. (2006). Accumulation of heavy metals (Cd, Cr, Cu, Ni and Zn) in *Raphanus sativus* L. and *Spinacia oleracea* L. plants irrigated with industrial effluent. *Journal of Environmental Biology*, 27(2): 381–384.
- Parvez, F., Chen, Y., Brandt-Rauf, P. W., Slavkovich, V., Islam, T., Ahmed, A., Argos, M., Hassan, R., Yunus, M., Haque, S. E., Balac, O., Graziano, J. H., & Ahsan, H. (2010). A prospective study of respiratory symptoms associated with chronic arsenic exposure in Bangladesh: Findings from the health effects of arsenic longitudinal study (HEALS). *Thorax*, 65: 528–533.
- Peláez-Peláez, M.-J., Bustamante-Cano, J.-J., & Gómez-López, E.-D. (2016). Presencia de cadmio

- y plomo en suelos y su bioacumulación en tejidos vegetales en especies de brachiaria en el Magdalena Medio colombiano. *Luna Azul*, 43, 82–101.
- Peralta-Videa, J. R., Lopez, M. L., Narayan, M., Saupe, G., & Gardea-Torresdey, J. (2009). The biochemistry of environmental heavy metal uptake by plants: Implications for the food chain. *International Journal of Biochemistry and Cell Biology*, 41: 1665–1677.
- Principalle, A., Iavicoli, I., Cerpelloni, M., Franceschi, A., Manno, M., & Perbellini, L. (2017). Biological monitoring of cobalt in hard metal factory workers. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 90(2): 243–254.
- Programa Especial para la Seguridad Alimentaria. (2011). Seguridad Alimentaria y Nutricional, Conceptos básicos. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, 1–8. Recuperado en 23 de marzo de 2020, <http://www.fao.org/3/a-at772s.pdf>
- Rai, P. K., Lee, S. S., Zhang, M., Tsang, Y. F., & Kim, K. H. (2019). Heavy metals in food crops: Health risks, fate, mechanisms, and management. *Environment International*, 125: 365–385.
- Ramírez, A. V. (2013). Exposición ocupacional y ambiental al arsénico. Actualización bibliográfica para investigación científica. *An de La Facultad de Medicina*, 74(3): 237–247.
- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz, M., & González, E. (2016). Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista de Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 16(2): 66–77.
- Rizvi, A., Parveen, S., Khan, S., & Naseem, I. (2020). Nickel toxicology with reference to male molecular reproductive physiology. *Reproductive Biology*, 20(1): 3–8.
- Romero, M. (2005). Evaluación de contaminantes metálicos dispersos en una empresa metalmecánica de Puebla y su posible relación con efectos toxicológicos. Tesis de pregrado. Cholula, Puebla, México: Universidad de las Américas, Puebla.
- Rodríguez, D. (2017). Intoxicación ocupacional por metales pesados. *MediSan*, 21(12): 3372–3385.
- Rubio, C., Gutiérrez, A. J., Martín-Izquierdo, R. E., Revert, C., Lozano, G., & Hardisson, A. (2004). El plomo como contaminante alimentario. *Revista de Toxicología*, 21(2–3): 72–80.
- Sancho-Lozano, D. (2016). *El tráfico de cobre en el cloroplasto de plantas superiores. Los transportadores de membrana*. Tesis de doctorado. Zaragoza, España: Universidad de Zaragoza.
- Sardar, A., Shahid, M., Natasha, Khalid, S., Anwar, H., Tahir, M., Shah, G. M., & Mubeen, M. (2020). Risk assessment of heavy metal(loid)s via *Spinacia oleracea L* ingestion after sewage water irrigation practices in Vehari District. *Environmental Science and Pollution Research*. Recuperado en 17 de marzo de 2020, 10.1007/s11356-020-09917-4.
- Sarmiento, M. I., Idrovo, Á. J., Restrepo, M., Díaz, M. del P., & González, A. (1999). Evaluación del impacto de la contaminación del embalse del Muña sobre la salud humana. *Rev. Salud Pública*, 1(2): 159–171.
- Secretaría de Planeación de Cundinamarca, & Oficina de Sistemas de Información Análisis y Estadísticas. (2015). *Estadísticas Básicas Provincia de Soacha*. Gobernación de Cundinamarca, 1–19. Recuperado en 19 de julio de 2020, <http://www.cundinamarca.gov.co/wcm/connect/9c0d8276-b231-4ec5-a7d9->

- Sharmila, G., Muthukumaran, C., Kirthika, S., Keerthana, S., Kumar, N. M., & Jeyanthi, J. (2020). Fabrication and characterization of *Spinacia oleracea* L extract incorporated alginate/carboxymethyl cellulose microporous scaffold for bone tissue engineering. *International Journal of Biological Macromolecules*, 156: 430–437.
- Sierra, S. (2016). Recuperación de compuestos de tungsteno y cobalto a partir de residuos de carburo de tungsteno-cobalto. Tesis de Magister. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. In *Departamento de materiales y minerales*.
- Silva Trejos, P. (2012). Cobre en alimentos de consumo básico por espectroscopia de absorción atómica modalidad de llama, Costa Rica. *Rev Costarr Salud Pública*, 21(2): 92–95.
- Sinha, S., Mallick, S., Misra, R. K., Singh, S., Basant, A., & Gupta, A. K. (2007). Uptake and translocation of metals in *Spinacia oleracea* L grown on tannery sludge-amended and contaminated soils: Effect on lipid peroxidation, morpho-anatomical changes, and antioxidants. *Chemosphere*, 67(1): 176–187.
- Taboada Lugo, N. (2017). El zinc y el cobre: micronutrientes esenciales para la salud humana. *Acta Médica Del Centro*, 11(2), 79–89.
- Téllez, J., Carvajal Rox, M., & Gaitán, A. M. (2004). Aspectos toxicológicos relacionados con la utilización del cromo en el proceso productivo de curtiembres. *Rev. Fac. Med. (Bogotá)*, 52(1): 50–61.
- Vahidnia, A., Van Der Voet, G. B., & De Wolff, F. A. (2007). Arsenic neurotoxicity - A review. *Human and Experimental Toxicology*, 26: 823–832.
- Vargas, O., Prieto, G., González, L. M., & Matamoros, A. (2004). *Geoquímica de metales pesados en suelos de la cuenca del Río Bogotá*. Instituto Colombiano de Geología y minería servicio Geológico. Bogotá, Colombia: 1–139.
- Varian, I. (2007). *Varian Atomic Absorption Spectrometers*. VARIAN, 1–16. Recuperado en 16 de mayo de 2020, <http://www.bu.edu/chemistry/files/cic/other/Vairan AA Intro.pdf>
- Vera, A. M., Venegas, A. M., Pertuz-Cruz, S. L., & Angulo, R. (2015). Análisis de los factores medio ambientales condicionantes de la inocuidad de hortalizas cultivadas y consumidos en el área rural de Tenjo, Cundinamarca. *Revista de La Facultad de Medicina*, 63(1): 57–68.
- Villegas-Torres, O. G., Dominguez-Patiño, M. L., Martínez-Jaimes, P., & Aguilar-cortes, M. (2015). Cobre y Níquel, microelementos esenciales en la nutrición vegetal. *Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias*, 2(2), 285–295.
- World Health Organization. (2019). *Exposure to cadmium: a major public health concern. Preventing Disease Through Healthy Environments*. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/329480/WHO-CED-PHE-EPE-19.4.3-eng.pdf?ua=1>
- Zhou, J., Liang, J., Hu, Y., Zhang, W., Liu, H., You, L., Zhang, W., Gao, M., & Zhou, J. (2018). Exposure risk of residents to copper near the largest flash copper smelter in China. *Science of the Total Environment*, 630, 453–461. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.211>
- Zhu, Y. G., Huang, Y., Hu, Y., Liu, Y., & Christie, P. (2004). Interactions between selenium and iodine uptake by spinach (*Spinacia oleracea* L) in solution culture. *Plant and Soil*, 261: 99–

Zuzolo, D., Cicchella, D., Demetriades, A., Birke, M., Albanese, S., Dinelli, E., Lima, A., Valera, P., & De Vivo, B. (2020). Arsenic: Geochemical distribution and age-related health risk in Italy. *Environmental Research*, 182: 1-17.

13. Anexos.

Anexo 1. Registro fotográfico visita a campo.

Figura 22. Toma del cultivo de espinaca.



Figura 23. Predio donde se realiza el muestreo



Anexo 2. Práctica laboratorio.

Figura 24. Muestra de hojas.

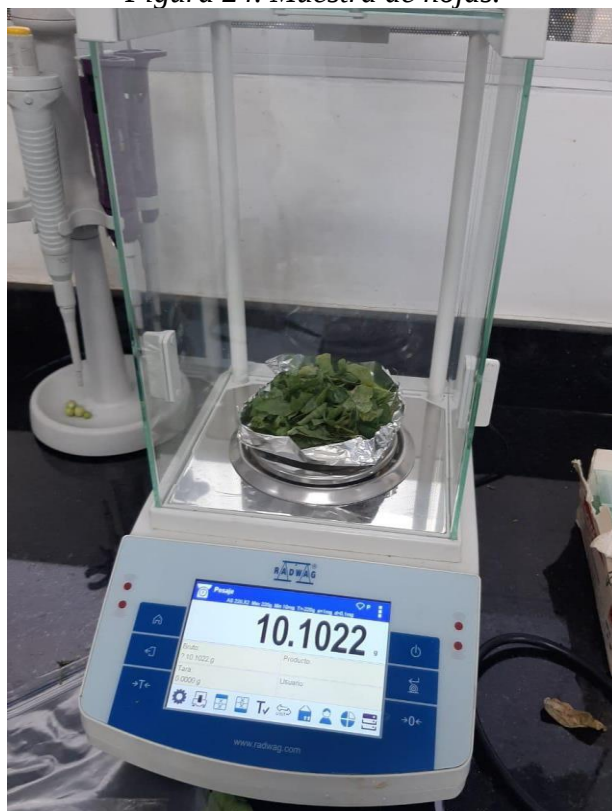


Figura 25. Muestra de raíz



Figura 26 Ácido Clorhídrico HCl.



Figura 27. Ácido Nítrico HNO_3

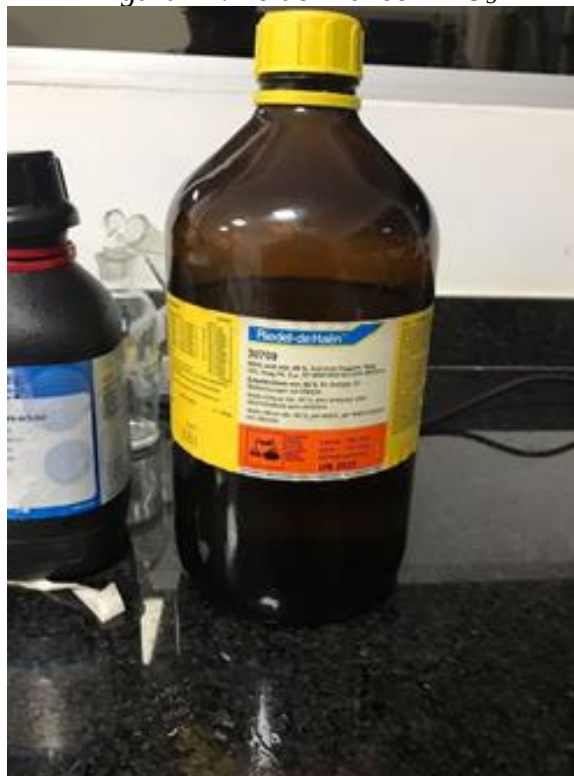


Figura 28. Filtrado de la digestión



Figura 29. Filtrado de la digestión



Figura 30. Filtro agua T1.



Anexo 3. Reactivos para utilizar.

Figura 31. Ficha técnica lámpara de cátodo hueco para Arsénico.

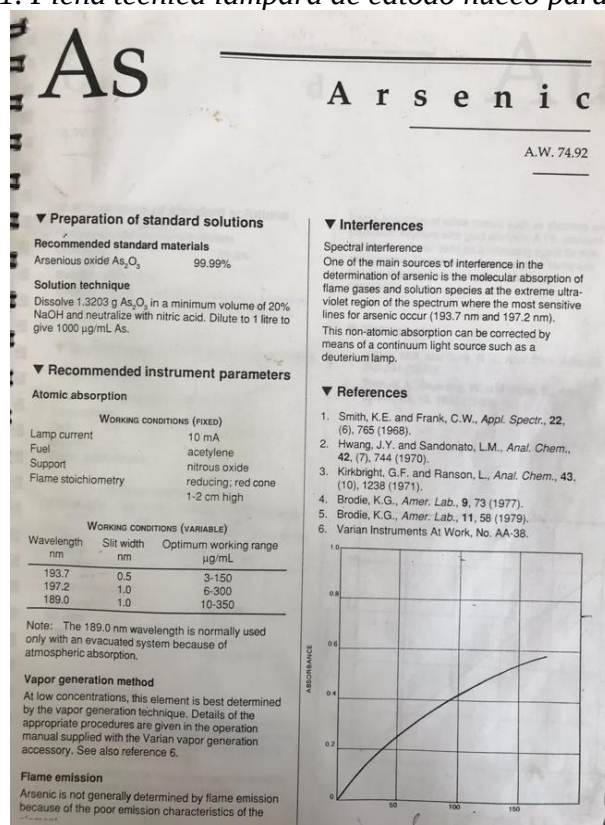


Figura 32. Ficha técnica lámpara de cátodo hueco para Cadmio.

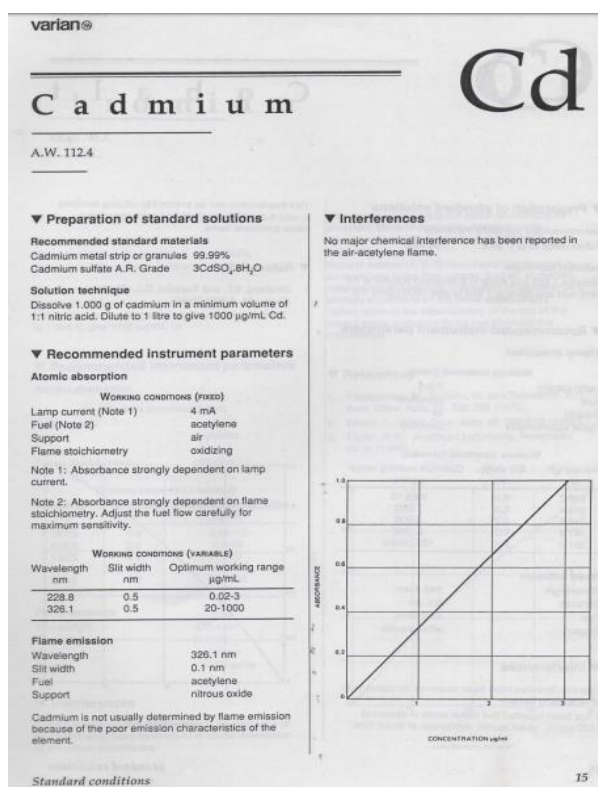


Figura 33. Ficha técnica lámpara de cátodo hueco para Cobre.

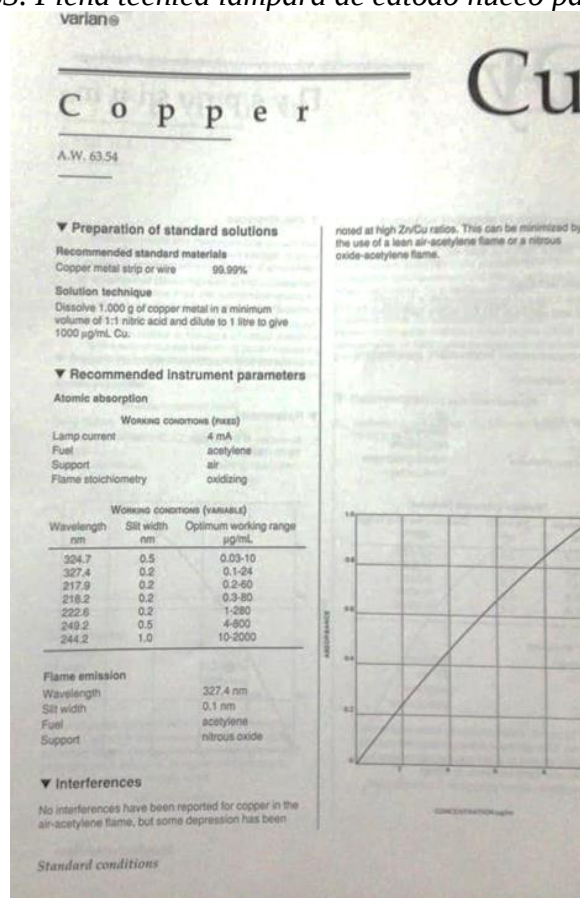


Figura 34. Ficha técnica lámpara de cátodo hueco para Cobalto.

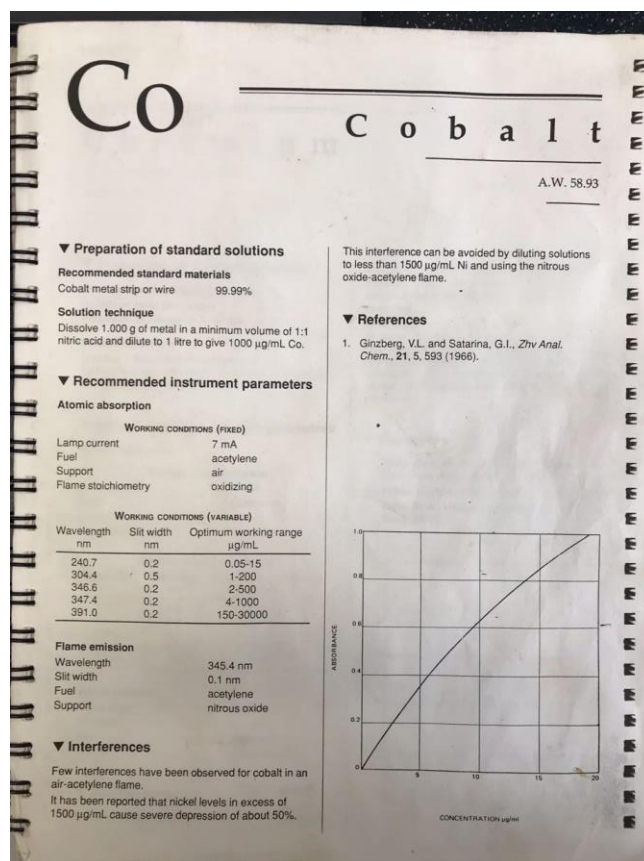


Figura 35. Ficha técnica lámpara de cátodo hueco para Cromo.

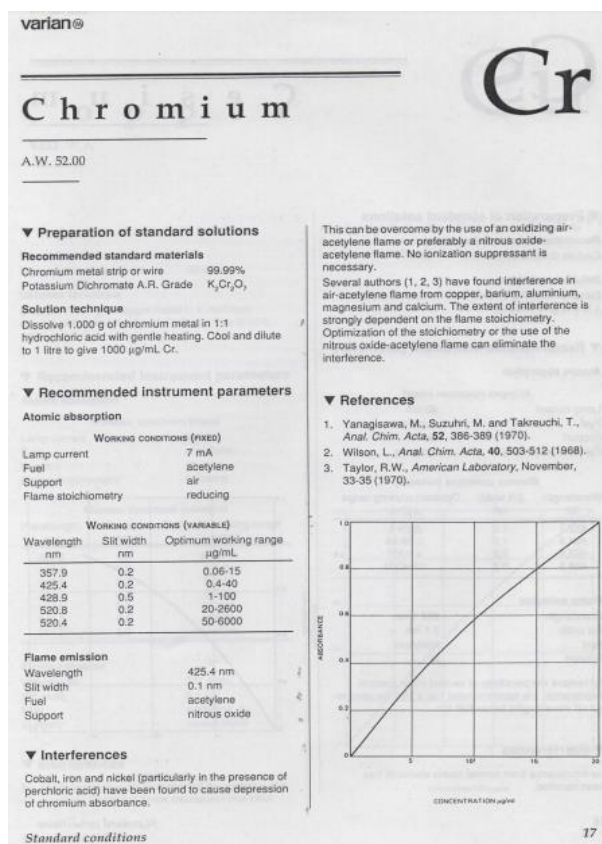


Figura 36. Ficha técnica lámpara de cátodo hueco para Níquel.

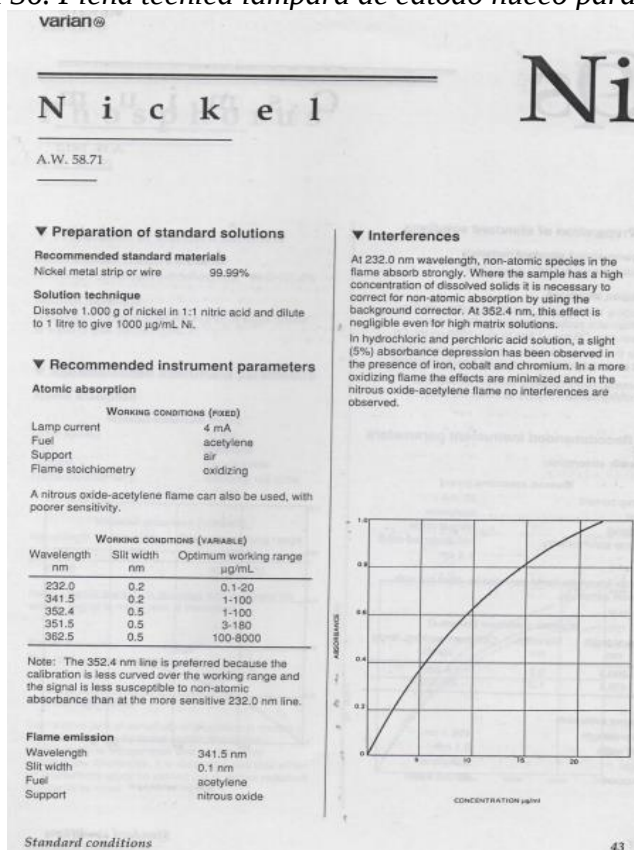


Figura 37. Ficha técnica lámpara de cátodo hueco para Plomo.

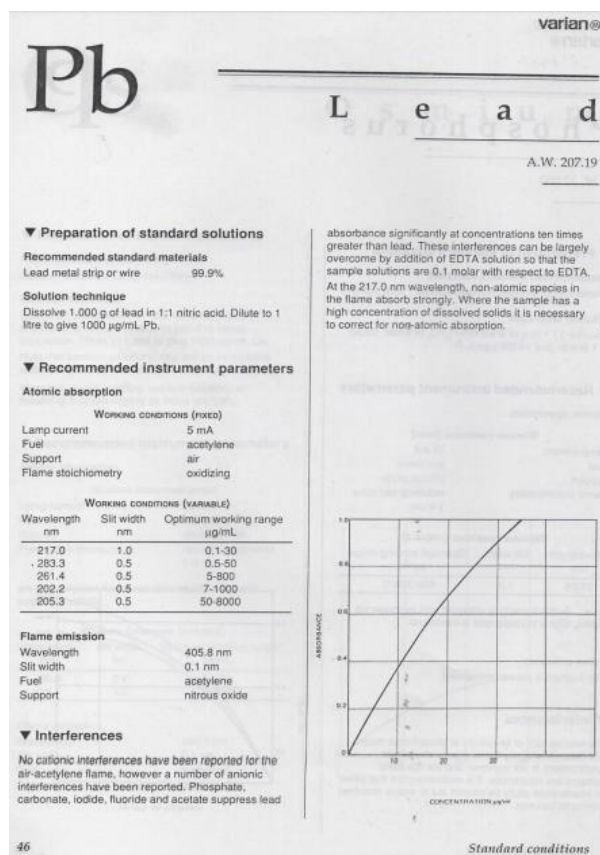


Figura 38. Patrón Cadmio.



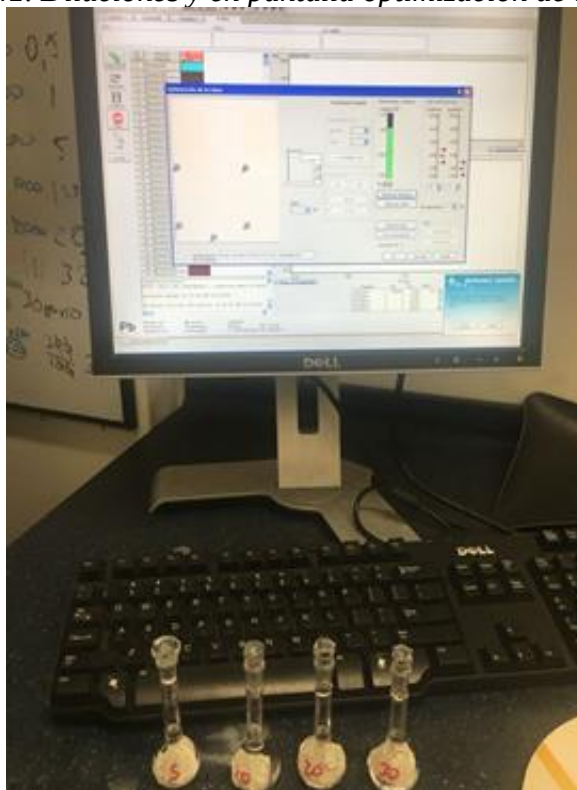
Figura 39. Patrón Cobalto



Figura 40. Medición de metales



Figura 41. Diluciones y en pantalla optimización de lámparas



Anexo 4. Equipos y material.

Figura 42. Calibración manual de la llama.



Figura 43. Diferentes tipos de quemadores



Figura 44. Instalación de lámparas



Anexo 5. Calibración del equipo.

5.1. Cromo.

Así como se mencionó, para la calibración del equipo se debe tener los factores que este propone en su ficha dependiendo la lámpara, para este caso el Cromo.

Tabla 12. Calibración de equipo para Cromo.

C	A	C ²	A*C	A corregida
1	0,0454	1	0,0454	0,0354
2	0,0841	4	0,1682	0,0708
3	0,1200	9	0,3600	0,1062
5	0,1839	25	0,9195	0,1771
10	0,3429	100	3,4290	0,3541
		139	4,9221	0,0354

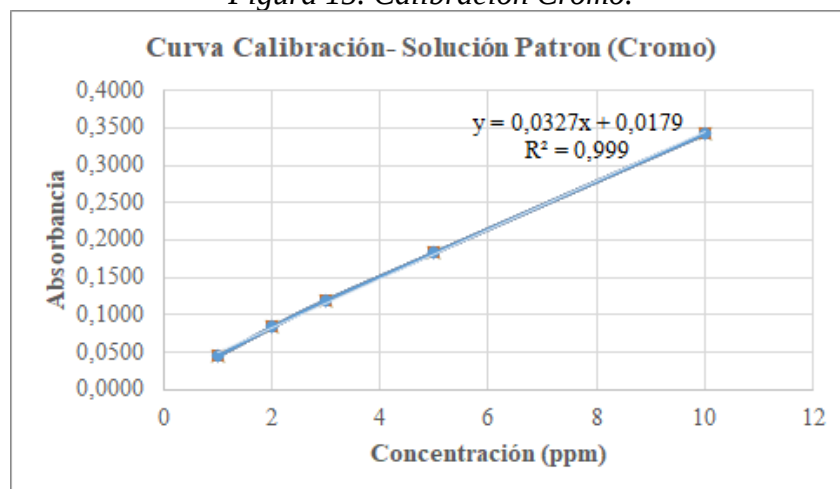
$$w = (A * C) / C^2$$

$$\text{Factor} = 28,239 \quad \text{Factor} = 1/w$$

$$C = \text{Factor} * \text{Absorbancia}$$

Así la concentración, es un factor que se mide en partes por millón (ppm), mencionado en el manual de cada uno de los elementos, también se menciona el número de diluciones y las concentraciones de estas para tener en cuenta para la concentración final y la medición de la curva. La absorbancia es una medida que el equipo brinda de absorción atómica. Esta primera calibración manual se realiza con las diluciones planteadas en el anexo 3, de acuerdo con esta se busca que la línea presente una pendiente $R^2=1$.

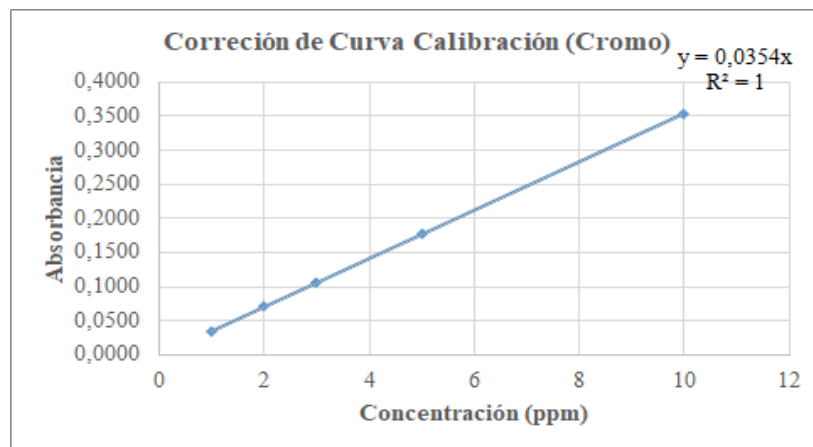
Figura 15. Calibración Cromo.



Fuente: Autores, 2020

Como no se obtiene una pendiente (R^2) igual a 1 si no un $R^2=0,999$. Es necesario realizar una corrección manual, el cual consta de multiplicar la absorbancia por la concentración., la sumatoria de estos valores se multiplica por la concentración inicial, este se realiza para obtener un valor $R^2= 1$.

Figura 16. Corrección de calibración Cromo.



Fuente: Autores, 2020.

5.2. Níquel.

Así como se mencionó, para la calibración del equipo se debe tener los factores que este propone en su ficha dependiendo la lámpara, para este caso el Níquel.

Tabla 13. Calibración de equipo para Níquel.

C	A	C2	A*C	A corregida
0,5	0,0482	0,25	0,0241	0,04379
1	0,093	1	0,093	0,08758
2,5	0,221	6,25	0,5525	0,21895
5	0,45	25	2,25	0,43790
7	0,6026	49	4,2182	0,61306
		81,5	7,1378	0,08758037

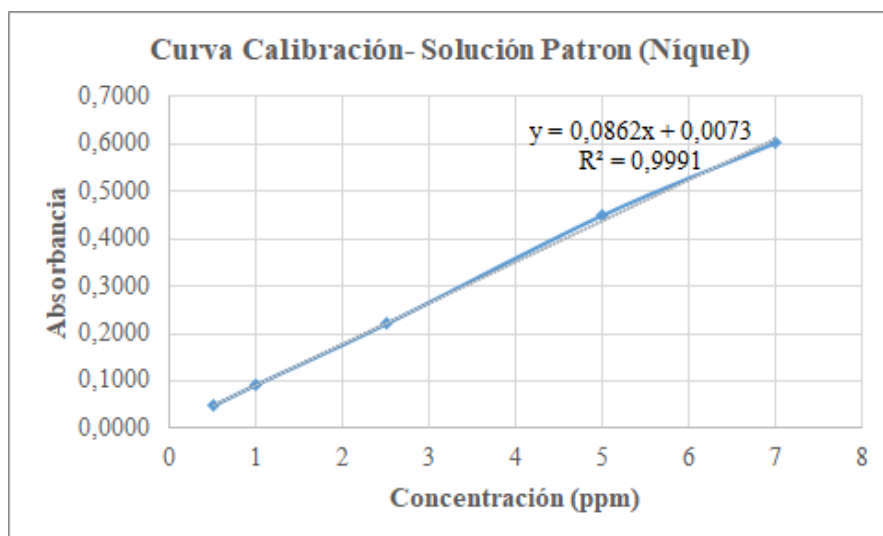
$$w = (A \cdot C) / C^2$$

$$\text{Factor} = 11,4181 \quad \text{Factor} = 1/w$$

$$C = \text{Factor} \cdot \text{Absorbancia}$$

Así la concentración, es un factor que se mide en partes por millón (ppm), mencionado en el manual de cada uno de los elementos, también se menciona el número de diluciones y las concentraciones de estas para tener en cuenta para la concentración final y la medición de la curva. La absorbancia es una medida que el equipo brinda de absorción atómica. Esta primera calibración manual se realiza con las diluciones planteadas en el anexo 3, de acuerdo con esta se busca que la línea presente una pendiente $R^2=1$.

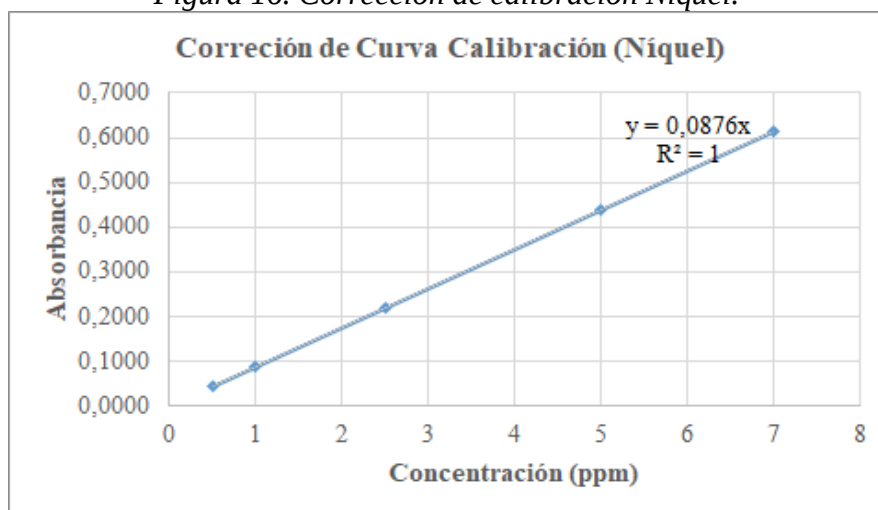
Figura 15. Calibración Níquel.



Fuente: Autores, 2020.

Como no se obtiene una pendiente (R^2) igual a 1 si no un $R^2=0,9991$. Es necesario realizar una corrección manual, el cual consta de multiplicar la absorbancia por la concentración., la sumatoria de estos valores se multiplica por la concentración inicial, este se realiza para obtener un valor $R^2=1$.

Figura 16. Corrección de calibración Níquel.



Fuente: Autores, 2020

5.3 Cobre.

Así como se mencionó, para la calibración del equipo se debe tener los factores que este propone en su ficha dependiendo la lámpara, para este caso el Cobre.

Tabla 14. Calibración de equipo para Cobre.

C	A	C2	A*C	A corregida
0,1	0,008	0,01	0,0008	0,0079
0,3	0,0266	0,09	0,0080	0,0238
0,5	0,0435	0,25	0,0218	0,0396
1	0,0845	1	0,0845	0,0793

2,5	0,2182	6,25	0,5455	0,1982
5	0,4116	25	2,0580	0,3964
10	0,7794	100	7,7940	0,7928
		132,6	10,5125	0,0793

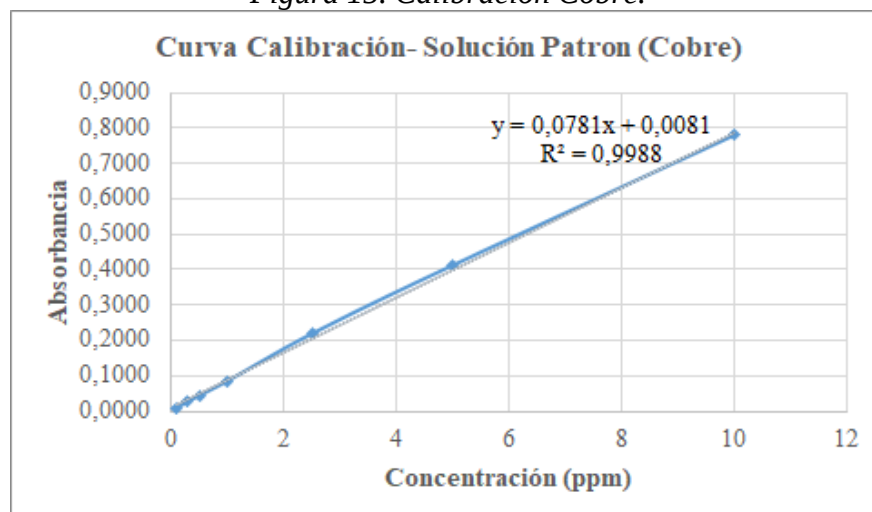
$$w = (A * C) / C^2$$

$$\text{Factor} = 12,6135 \quad \text{Factor} = 1/w$$

$$C = \text{Factor} * \text{Absorbancia}$$

Así la concentración, es un factor que se mide en partes por millón (ppm), mencionado en el manual de cada uno de los elementos, también se menciona el número de diluciones y las concentraciones de estas para tener en cuenta para la concentración final y la medición de la curva. La absorbancia es una medida que el equipo brinda de absorción atómica. Esta primera calibración manual se realiza con las diluciones planteadas en el anexo 3, de acuerdo con esta se busca que la línea presente una pendiente $R^2=1$.

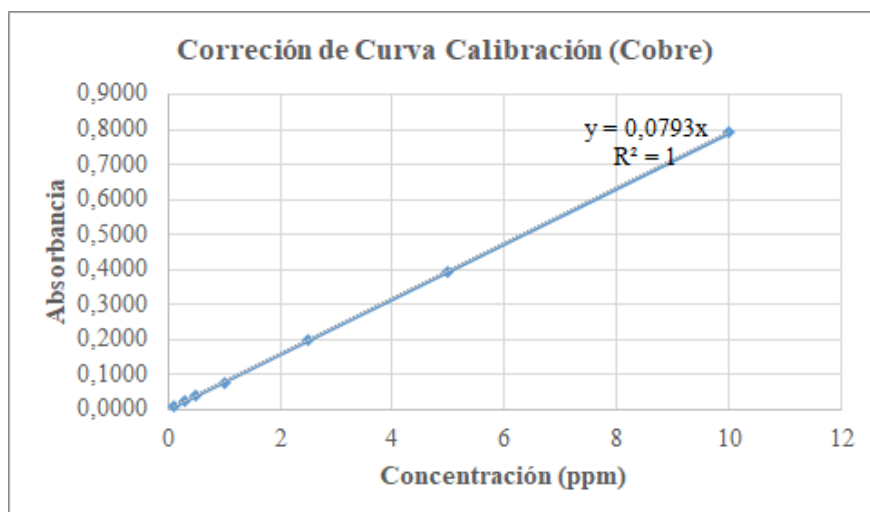
Figura 15. Calibración Cobre.



Fuente: Autores, 2020.

Como no se obtiene una pendiente (R^2) igual a 1 si no un $R^2=0,9988$. Es necesario realizar una corrección manual, el cual consta de multiplicar la absorbancia por la concentración., la sumatoria de estos valores se multiplica por la concentración inicial, este se realiza para obtener un valor $R^2= 1$.

Figura 16. Corrección de calibración Cobre.



Fuente: Autores, 2020.

5.4. Plomo.

Así como se mencionó, para la calibración del equipo se debe tener los factores que este propone en su ficha dependiendo la lámpara, para este caso el Plomo.

Tabla 15. Calibración de equipo para Plomo.

C	A	C ²	A*C	A corregida
1	0,0116	1	0,0116	0,0120
2	0,0231	4	0,0462	0,0239
3	0,0352	9	0,1056	0,0359
5	0,0604	25	0,3020	0,0599
10	0,1199	100	1,1990	0,1197
		139	1,6644	0,0120

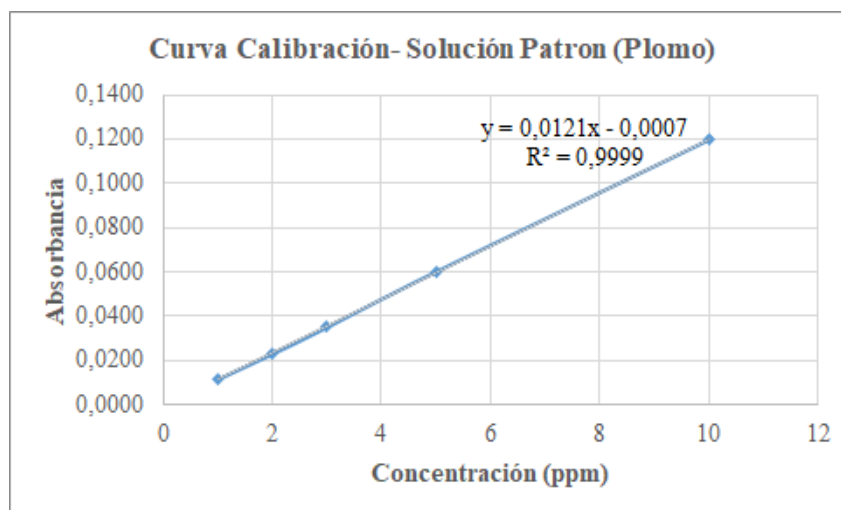
$$w = (A * C) / C^2$$

$$\text{Factor} = 83,5136 \quad \text{Factor} = 1/w$$

$$C = \text{Factor} * \text{Absorbancia}$$

Así la concentración, es un factor que se mide en partes por millón (ppm), mencionado en el manual de cada uno de los elementos, también se menciona el número de diluciones y las concentraciones de estas para tener en cuenta para la concentración final y la medición de la curva. La absorbancia es una medida que el equipo brinda de absorción atómica. Esta primera calibración manual se realiza con las diluciones planteadas en el anexo 3, de acuerdo con esta se busca que la línea presente una pendiente $R^2=1$.

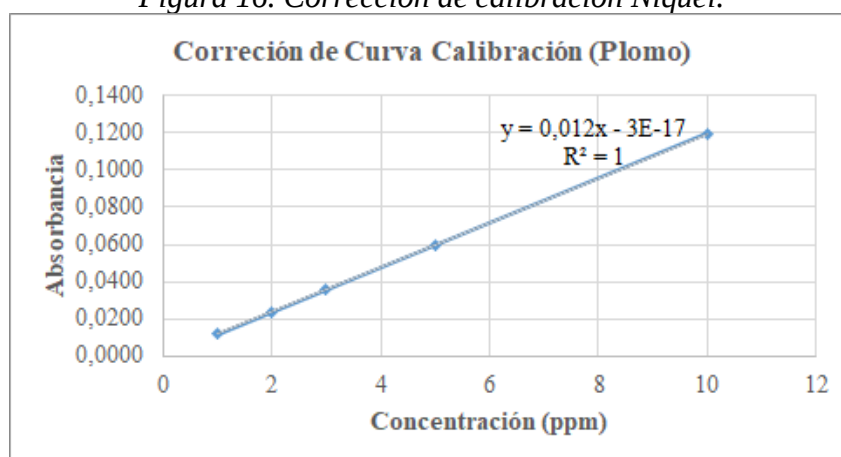
Figura 15. Calibración Cromo.



Fuente: Autores, 2020.

Como no se obtiene una pendiente (R^2) igual a 1 si no un $R^2=0,9999$. Es necesario realizar una corrección manual, el cual consta de multiplicar la absorbancia por la concentración., la sumatoria de estos valores se multiplica por la concentración inicial, este se realiza para obtener un valor $R^2=1$.

Figura 16. Corrección de calibración Níquel.



Fuente: Autores, 2020

5.5. Arsénico.

Así como se mencionó, para la calibración del equipo se debe tener los factores que este propone en su ficha dependiendo la lámpara, para este caso el Arsénico.

Tabla 16. Calibración de equipo para Arsénico.

C	A	C2	A*C	A corregida
5	0,02540	25	0,127	0,0161
10	0,03860	100	0,386	0,0321
20	0,06660	400	1,332	0,0643
30	0,09120	900	2,736	0,0964
		1425	4,581	0,0032

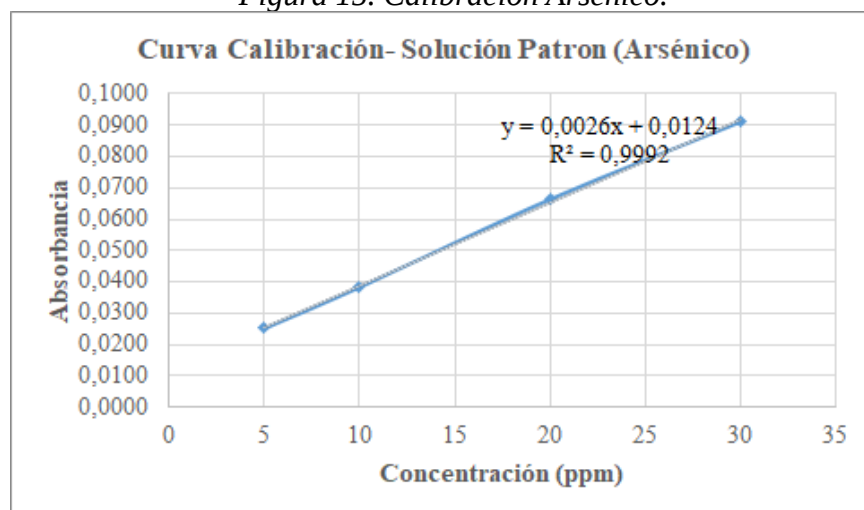
$$w = (A * C) / C^2$$

$$\text{Factor} = 311,0675 \quad \text{Factor} = 1/w$$

$$C = \text{Factor} * \text{Absorbancia}$$

Así la concentración, es un factor que se mide en partes por millón (ppm), mencionado en el manual de cada uno de los elementos, también se menciona el número de diluciones y las concentraciones de estas para tener en cuenta para la concentración final y la medición de la curva. La absorbancia es una medida que el equipo brinda de absorción atómica. Esta primera calibración manual se realiza con las diluciones planteadas en el anexo 3, de acuerdo con esta se busca que la línea presente una pendiente $R^2=1$.

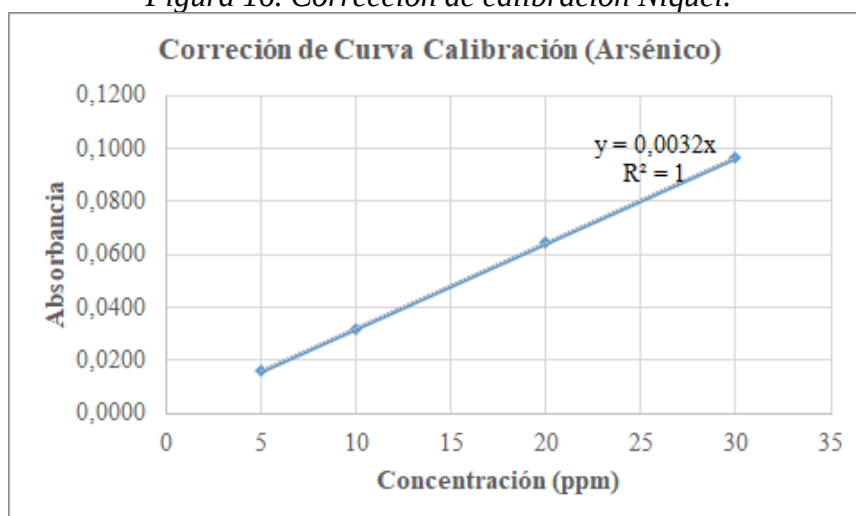
Figura 15. Calibración Arsénico.



Fuente: Autores, 2020.

Como no se obtiene una pendiente (R^2) igual a 1 si no un $R^2=0,9992$. Es necesario realizar una corrección manual, el cual consta de multiplicar la absorbancia por la concentración., la sumatoria de estos valores se multiplica por la concentración inicial, este se realiza para obtener un valor $R^2= 1$.

Figura 16. Corrección de calibración Níquel.



Fuente: Autores, 2020.

5.6. Cobalto.

Así como se mencionó, para la calibración del equipo se debe tener los factores que este propone en su ficha dependiendo la lámpara, para este caso el Cobalto.

Tabla 17. Calibración de equipo para Cobalto.

C	A	C2	A*C	A corregida
1	0,03250	1	0,0325	0,0280
2	0,06110	4	0,1222	0,0560
3	0,08590	9	0,2577	0,0841
5	0,13610	25	0,6805	0,1401
		39	1,0929	0,0280

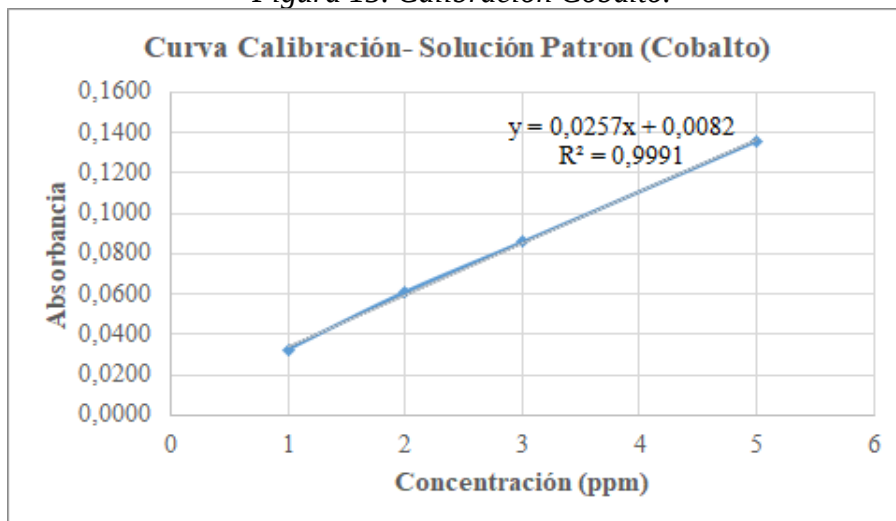
$$w = (A * C) / C^2$$

$$\text{Factor} = 35,6849 \text{ Factor} = 1/w$$

$$C = \text{Factor} * \text{Absorbancia}$$

Así la concentración, es un factor que se mide en partes por millón (ppm), mencionado en el manual de cada uno de los elementos, también se menciona el número de diluciones y las concentraciones de estas para tener en cuenta para la concentración final y la medición de la curva. La absorbancia es una medida que el equipo brinda de absorción atómica. Esta primera calibración manual se realiza con las diluciones planteadas en el anexo 3, de acuerdo con esta se busca que la línea presente una pendiente $R^2=1$.

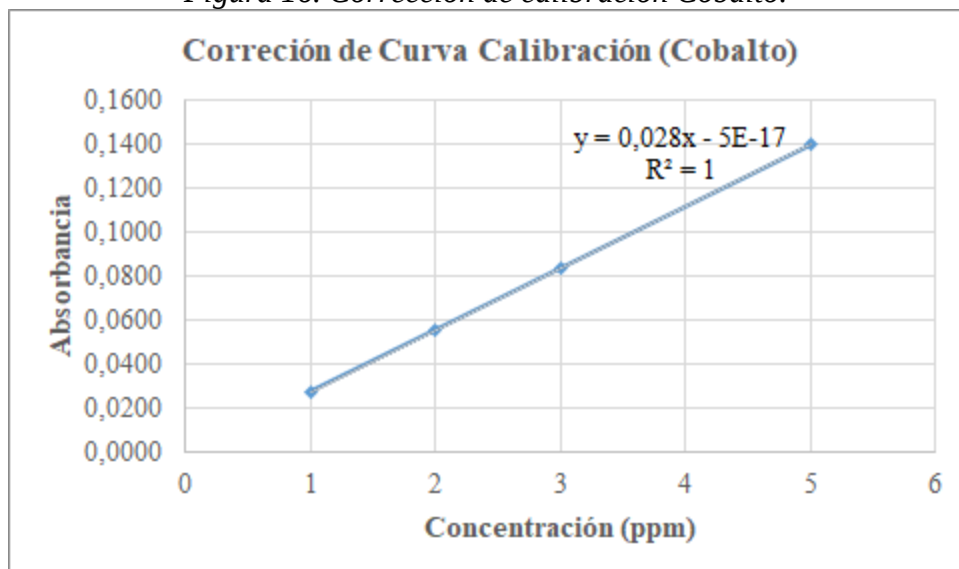
Figura 15. Calibración Cobalto.



Fuente: Autores, 2020.

Como no se obtiene una pendiente (R^2) igual a 1 si no un $R^2=0,9991$. Es necesario realizar una corrección manual, el cual consta de multiplicar la absorbancia por la concentración., la sumatoria de estos valores se multiplica por la concentración inicial, este se realiza para obtener un valor $R^2=1$

Figura 16. Corrección de calibración Cobalto.



Fuente: Autores, 2020.

5.7. Cadmio.

Así como se mencionó, para la calibración del equipo se debe tener los factores que este propone en su ficha dependiendo la lámpara, para este caso el Cadmio.

Tabla 18. Calibración de equipo para Cadmio.

C	A	C2	A*C	A corregida
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

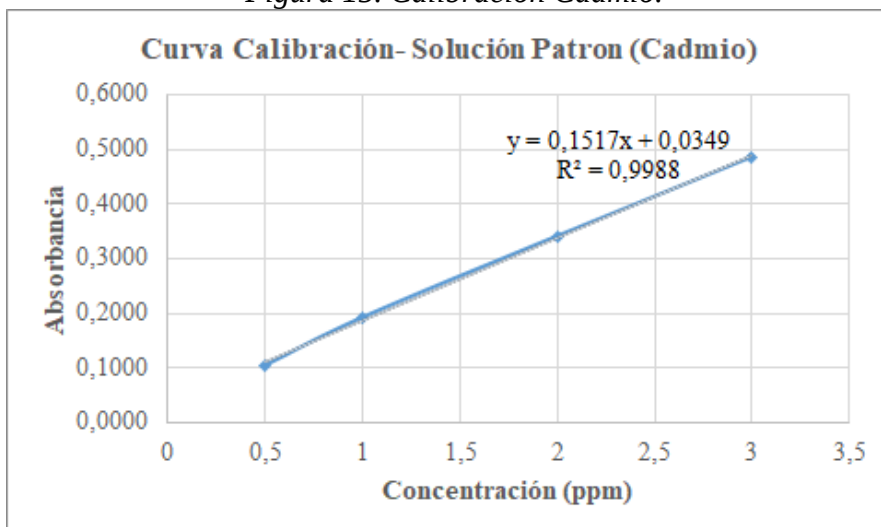
$$w = (A * C) / C^2$$

$$\text{Factor} = 5,9662 \quad \text{Factor} = 1/w$$

$$C = \text{Factor} * \text{Absorbancia}$$

Así la concentración, es un factor que se mide en partes por millón (ppm), mencionado en el manual de cada uno de los elementos, también se menciona el número de diluciones y las concentraciones de estas para tener en cuenta para la concentración final y la medición de la curva. La absorbancia es una medida que el equipo brinda de absorción atómica. Esta primera calibración manual se realiza con las diluciones planteadas en el anexo 3, de acuerdo con esta se busca que la línea presente una pendiente $R^2=1$.

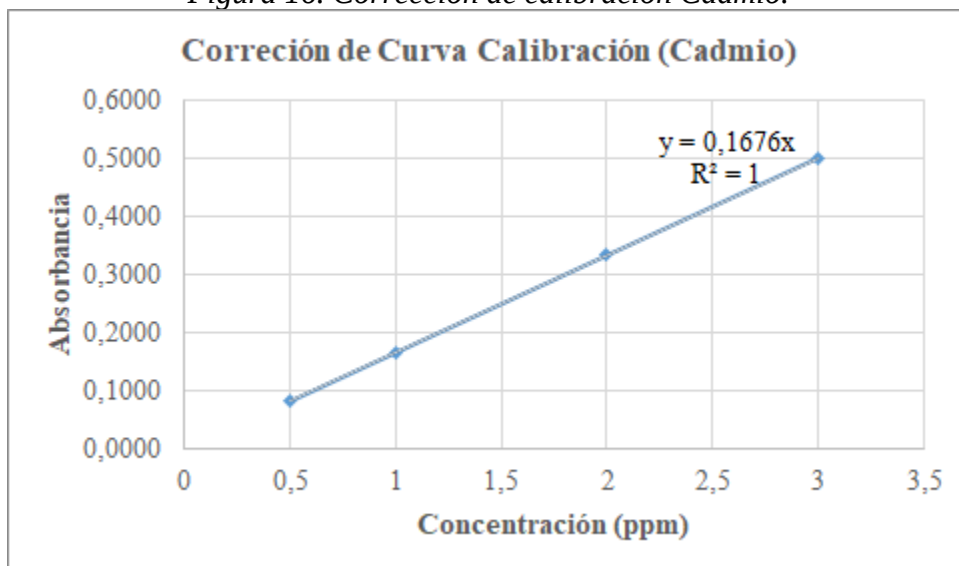
Figura 15. Calibración Cadmio.



Fuente: Autores, 2020.

Como no se obtiene una pendiente (R^2) igual a 1 si no un $R^2=0,9988$. Es necesario realizar una corrección manual, el cual consta de multiplicar la absorbancia por la concentración., la sumatoria de estos valores se multiplica por la concentración inicial, este se realiza para obtener un valor $R^2=1$.

Figura 16. Corrección de calibración Cadmio.



Fuente: Autores, 2020