

**DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN Y CINÉTICA DEL PLOMO EN UN
CULTIVO DE FRESA CERCAÑO AL EMBALSE DEL MUÑA EN EL MUNICIPIO DE
SIBATE, CUNDINAMARCA.**

ELABORADO POR:

**KELLY JOHANNA AVELLANEDA ROMERO
JULY PAULIN CARO CASTIBLANCO**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TITULO DE INGENIERAS
AMBIENTALES**

DIRECTOR:

**JOHAN ALEXANDER ALVAREZ BERRIO
INGENIERO AMBIENTAL Y SANITARIO**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL
BOGOTA D.C
2015**

Nota de Aceptación:

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bogotá D.C, _____

DEDICATORIA

A mis padres Lilia Fanny y Luis Antonio. Por la vida, el amor, el apoyo incondicional, la comprensión y la paciencia. Gracias por sus esfuerzos y consejos infalibles, los cuales me impulsaron día a día a luchar por este sueño. Son ustedes mi mayor motivación y mi mayor orgullo. Los amo con el alma.

Igualmente a mi familia quienes aminoraron el dolor de la distancia, ocupando el lugar de mis padres durante estos cinco años; especialmente a mi tía Alicia por acogerme y cuidarme como una hija más.

Kelly Johanna Avellaneda Romero

*“Todo lo que se ha inventado fue imaginado alguna vez, y todo lo que se inventará ha de imaginarse. La imaginación es clave para la vida, nos permite soñar, emocionarnos, encontrar esa pizca de sal que a veces necesitamos en nuestra vida”. **Albert Einstein***

DEDICATORIA

A mis papas Zoraida y Alexander por ser un ejemplo de que cuando se quiere obtener un triunfo se logra con esfuerzo y dedicación, por permitirme imaginar, que cada uno de esos sueños que tengo se hará realidad, que la imaginación rodea al mundo y es la clave de la vida; por estar conmigo en los momentos en que me sentía vencida. Por enseñarme que todo tiene solución y que la única huella en cada uno de nosotros es el estudio, que es lo que perdura por toda nuestra vida. A mi abuelita Nena y mi mama por ser ejemplo de mujeres que todo lo que se proponen lo logran porque lo hacen con amor y dedicación. A toda mi familia en especial a mi abuelito Evaristo por enseñarme a defender mis ideales y buscar la justicia por encima de todo. Y por último y no menos importante a mis hermanos que aunque parezca que estuviéramos en una batalla, hay momentos en que cesa para apoyarnos y lograr nuestros objetivos, gracias no solo por estar siempre a mi lado, sino por todos los bonitos recuerdos y los buenos momentos que nos quedan por compartir.

July Paulin Caro Castiblanco

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Alcaldía municipal de Sibaté, especialmente a la secretaría de Agricultura, Medio Ambiente y Desarrollo Económico por gestionar un cultivo de fresa necesario para el desarrollo del presente proyecto. Igualmente al señor Saúl Jiménez Díaz, por autorizar la toma de muestras en su predio.

También reconocemos el aporte realizado a esta investigación por los docentes de la facultad de Ingeniería Ambiental de nuestra universidad, el interés y el tiempo prestado para cumplir los objetivos planteados en el documento.

CONTENIDO

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN.....	3
1. OBJETIVOS.....	4
Objetivo General.....	4
Objetivos Específicos	4
2. MARCO DE REFERENCIA.....	5
2.1. Marco Contextual	5
2.1.1. Ubicación del municipio.....	5
2.1.2. Características Biofísicas	6
2.1.3. Servicios Públicos	10
2.1.4. Salud.....	11
2.2. Marco Teórico	12
2.2.1. El embalse del Muña.....	12
2.2.2. Las fresas.....	12
2.2.3. Plomo	14
2.2.4. Espectrofotometría de absorción atómica	16
2.2.5. Cinética ambiental	17
2.2.6. Toxicocinética.....	21
2.3. Marco Conceptual.....	23
2.4. Marco Institucional	25
2.4.1. Alcaldía de Sibaté.....	25
2.4.2. Universidad Santo Tomas	25
2.5. Marco legal	26
3. DESARROLLO CENTRAL	28
3.1. Lugar de muestreo	28
3.2. Cálculo del número de muestras	31
3.3. Muestreo.....	33
3.3.1. Muestreo de suelo	34
3.3.2. Muestreo de Agua.....	35

3.3.3.	Muestreo de fresas	36
3.4.	Análisis de Laboratorio.....	37
3.5.	Cinética ambiental	40
3.6.	Análisis de riesgos	40
3.7.	Toxicocinética	42
3.8.	Resultados.....	45
3.8.1.	Análisis de laboratorio	45
3.8.2.	Cinética Ambiental	47
3.9.	Discusión y análisis de resultados	50
3.9.1.	Verificación de la calibración	50
3.9.2.	Concentraciones por debajo del límite	54
3.9.3.	Análisis estadístico	56
3.9.4.	Análisis Geoestadístico	57
3.9.5.	Comparación con la normativa	60
3.9.6.	Análisis de riesgo.....	61
3.9.7.	Toxicocinética.....	65
4.	CONCLUSIONES.....	72
5.	RECOMENDACIONES.....	74
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	75
	Anexos.....	79
	Anexo 1: Cadena de custodia.....	79
	Anexo 3: Fotos	83

Lista de figuras

Figura 1. Mapa de ubicación geográfica.	5
Figura 2. Mapa de precipitación.	7
Figura 3. Mapa de temperatura.	8
Figura 4. Modelo de la cinética del plomo.....	18
Figura 5. Vida media del plomo en el organismo.....	22
Figura 6. Distancia cultivo-Embalse.	28
Figura 7. Representación del lugar de Muestreo.....	29
Figura 8. Mapa de Amenazas por Inundación.	31
Figura 9. Puntos de Muestreo cultivo de Fresa.	33
Figura 10. Mapa concentración de Pb en el cultivo.....	58
Figura 11. Mapa de concentraciones de Pb en el cultivo y puntos de riego	59

Lista de imágenes

Imagen 1. Cultivo de fresas muestreado.	30
Imagen 2. Muestreo de suelo.	34
Imagen 3. Estanque de almacenamiento del agua para riego	35
Imagen 4. Muestras de fresa	36
Imagen 5. Espectrofotómetro de absorción atómica utilizado.	37
Imagen 6. Secado del suelo a temperatura ambiente.	38
Imagen 7. Digestión de muestras de agua.	39
Imagen 8. Mufla de calcinación.	40
Imagen 9. Cinética del Pb en Sibaté.	49
Imagen 10. Compuestos de plomo disponibles para la planta	49
Imagen 11. Cadena de custodia fresas de la muestra No 1 a la 16	79
Imagen 12. Cadena de custodia fresas de la muestra No 17 a la 29	80
Imagen 13. Cadena de custodia suelo de la muestra No 1	81
Imagen 14. Cadena de custodia agua de la muestra No 1 y 2	82
Imagen 15. Carrera 7.	83
Imagen 16. Cultivo de fresa y Carrera 7.	84
Imagen 17. Entrada al predio.	85

Lista de tablas

Tabla 1. Principales enfermedades presentadas en el municipio.....	11
Tabla 2. Contenido nutricional de la fresa.....	13
Tabla 3. Ventajas y Desventajas de la técnica	17
Tabla 4. Exposición de los diferentes medios al plomo y sus compuestos.....	19
Tabla 5. Disposiciones legales vigentes.	26
Tabla 6. Composición fertilizante	29
Tabla 7. Nivel de confianza.	32
Tabla 8. Resultados suelo.....	45
Tabla 9. Resultados agua	45
Tabla 10. Resultados	46
Tabla 11. Calibración del laboratorio.....	51
Tabla 12. Regresión lineal y variable.....	52
Tabla 13. Concentraciones finales en fresa	54
Tabla 14. Concentración final en suelo.....	55
Tabla 15. Concentraciones finales en agua.....	55
Tabla 16. Estadísticos descriptivos.....	56

Lista de gráficas

Grafico 1. Rosa de los vientos	10
Grafico 2. Curva de calibración verificada	53
Grafico 3. Curtosis	57
Grafico 4. Comparación de la concentración en fresa con normativa.....	60

Lista de ecuaciones

Ecuación 1. Número de muestras finitas	31
Ecuación 2. Tamaño del número de muestras finitas.....	32
Ecuación 3. Dosis de exposición.....	41
Ecuación 4. Dosis absorbida.....	42
Ecuación 5. Tasa de consumo	42
Ecuación 6. Cantidad de plomo en sangre.....	43
Ecuación 7. Cantidad de plomo en huesos	43
Ecuación 8. Cantidad de plomo tejidos blandos aportado por la sangre	43
Ecuación 9. Cantidad de plomo tejidos blandos aportado por la dosis absorbida por adultos	43
Ecuación 10. Cantidad de plomo tejidos blandos aportado por la dosis absorbida en niños	44
Ecuación 11. Cantidad de plomo total en los tejidos blandos	44
Ecuación 12. Eliminación por orina.....	44
Ecuación 13. Eliminación por excretas.....	44
Ecuación 14. Eliminación por sudor	44
Ecuación 15. Límite de detección	53

Lista de símbolos y abreviaturas

Símbolo	Término
°C	Grados Celsius
Corpoica	Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadística
dl	decilitro
EAA	Espectrofotometría de Absorción Atómica
EDTA	Ácido etilendiaminotetraacético (Agente quelante)
EPA	Environmental Protection Agency
g	gramos
ha	hectárea
HNO₃	Ácido nítrico
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia.
IPS	Institución Prestadora de Servicios de Salud
kg	kilogramo
km	kilómetros
km²	Kilómetros cuadrados
l	litros
LOD	Límite de detección
m	metro
m²	metro cuadrado
m³	metro cubico
mg	miligramos
ml	mililitros
mm	milímetros
m.s.n.m.	metros sobre el nivel del mar
ng	nanogramos
NPK	Nitrógeno-Fosforo-Potasio
OMS	Organización Mundial de la Salud
Pb	Plomo
PBOT	Plan Básico de Ordenamiento Territorial
pH	Potencial hidrógeno
ppm	Partes por millón
RIPS	Registros Individuales de Prestación de Servicios de Salud
S	Error de las desviación estándar
µg	microgramo

RESUMEN

La sabana de Bogotá es transitada de Norte a Sur por el Río del mismo nombre e integrada por diferentes municipios; desde Villapinzón hasta el municipio de Sibaté, los asentamientos poblacionales aportan gran cantidad de vertimientos industriales y agrícolas, así como residuos sólidos, que ubican al río como uno de los más contaminados del mundo. Sin embargo es común encontrar diferentes cultivos hortícolas y frutícolas típicos de la región, un ejemplo de esto es el municipio de Sibaté, reconocido por su alta producción de fresas [1].

La presente investigación se desarrolló en plantaciones de fresa en un cultivo ubicado en la vereda Delicias del municipio de Sibaté, Cundinamarca, en la cuenca media del río Bogotá, en él se realizaron muestreos de agua, suelo y frutos del cultivo regado con agua depositada en un estanque de la propiedad, para de esta forma observar la relación potencial entre la salud de la población y las concentraciones en fresa detectadas y posiblemente ingeridas. Posteriormente la toxicocinética del plomo en el organismo fue analizada para determinar la dosis a la que ha estado expuesta una persona con un consumo promedio de 0,9 kg de fresas al año, ya que este dato es el consumo promedio de fresas de una persona en Colombia [2]. Para el análisis del plomo fue empleado el método de espectrofotometría de absorción atómica por llama para determinar los niveles del metal y posteriormente se analizaron los datos teniendo en cuenta la concentración más alta detectada por el método.

Debido a que el laboratorio utiliza un rango de detección muy alto para el reporte de resultados, las concentraciones registradas se encontraron por debajo de este límite, por tal motivo fue necesario analizar los datos no reportados, pero detectados, aunque no tengan una alta confiabilidad, esto coadyuvó a determinar la situación hipotética de una persona que consuma la concentración máxima detectada por el método (1,17 mg/kg); al mismo tiempo se compararon las concentraciones con la legislación colombiana vigente y los valores de referencia de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el nivel máximo recomendado por la Resolución 4506 del 2013.

Para determinar la cinética del plomo en el ambiente se realizó un análisis del comportamiento del metal en el aire, agua, suelo y biota, observando las reacciones e interacciones en cada uno de estos medios. De esta manera pudo establecerse la relación entre los procesos de dispersión y la transferencia del plomo en los alrededores del embalse y el cultivo.

Por último se realizó el análisis de riesgo, donde fueron calculadas las dosis absorbidas en cuatro grupos con diferentes características, teniendo en cuenta los factores de edad y sexo, y así se determinó el grupo más vulnerable a la absorción del plomo.

INTRODUCCIÓN

El constante crecimiento de la actividad industrial y agrícola en las riberas del río Bogotá ha contribuido al aumento de la cantidad de residuos vertidos a este cuerpo de agua y por ende al deterioro de la calidad de sus aguas, afectando a diferentes poblaciones cercanas, entre estas el municipio de Sibaté, ubicado a 25 km al Sur de la capital colombiana y en el cual se encuentra el embalse del Muña con un área total de 8.930.000m² inundado con agua contaminada del Río Bogotá, representando una problemática de salud pública en la zona [3].

Dicha contaminación surge desde la cuenca alta del río y se almacena desde hace más de 48 años en el cuerpo de agua del Muña, el cual presenta un notable deterioro por la presencia de metales pesados y otros compuestos perjudiciales para la salud y el bienestar de la población, la cual por su cercanía al embalse está expuesta a fuertes olores que provienen de este cuerpo de agua, vectores y contaminación de alimentos cosechados en cultivos cercanos. Uno de los productos de mayor producción en el municipio es la fresa, aunque aparentemente la calidad de estos productos es aceptable en el mercado por su forma, peso y textura, en realidad se desconoce la presencia de diversos compuestos posiblemente contenidos en la fruta. Por esto la importancia de determinar las concentraciones de plomo que puedan tener las fresas cultivadas en cercanía al cuerpo de agua.

Teniendo en cuenta lo anterior, esta investigación busca determinar la concentración y cinética ambiental del Pb. acumulado en un cultivo de fresas cercano al embalse, para de esta manera poder establecer la influencia del mismo en la calidad del producto. El desarrollo de este trabajo consta de cuatro partes: primero la recolección de las muestras de suelo, fresa y agua de riego; segundo el análisis de laboratorio de las muestras obtenidas, a través de espectrofotometría de absorción atómica con llama directa; tercero la obtención de los resultados, los cuales se encontraron por debajo del límite de detección empleado por el laboratorio; y por último la comparación de las concentraciones con la normativa vigente y el cálculo de las diferentes dosis de ingestión de plomo por kilogramo de fresa consumido por individuo; teniendo en cuenta la concentración máxima detectada (1.17mg/kg) por la técnica.

1. OBJETIVOS

Objetivo General

- Determinar la concentración y cinética ambiental del plomo (Pb) acumulado en un cultivo de fresas, ubicado en el municipio de Sibaté, Cundinamarca.

Objetivos Específicos

- Determinar la concentración de plomo en muestras de suelo, fresas y agua por medio de la espectrofotometría de absorción atómica.
- Establecer las diferentes rutas de absorción del plomo en las personas que estén en contacto con las fresas.
- Identificar las fuentes de exposición del plomo presente en el cultivo.
- Comparar las concentraciones de plomo determinadas en la fresa, con la normativa nacional e internacional vigente, que limita los niveles de Pb aptos en alimentos.

2. MARCO DE REFERENCIA

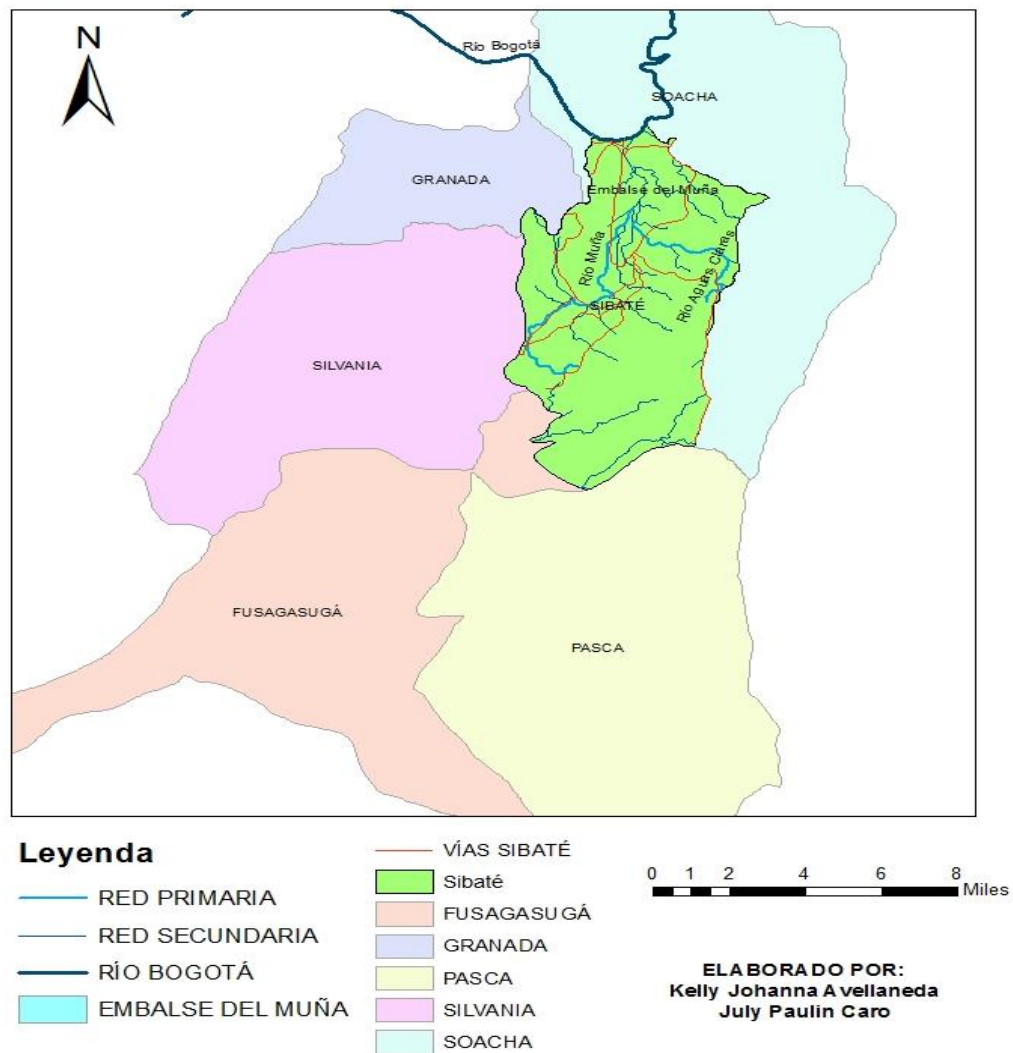
2.1. Marco Contextual

2.1.1. Ubicación del municipio

Figura 1. Mapa de ubicación geográfica.



Ubicación Sibaté-Cundinamarca



Fuente: Las autoras.

Sibaté es un municipio de Cundinamarca ubicado a 27 km al Sur de la capital Colombiana, se encuentra dentro de la zona Sur Occidental de la Sabana de Bogotá y cuenta con una extensión territorial de 125.6 km², de los cuales 16.9 km² pertenecen al área urbana conformada por 14 barrios y 108.7 km² al área rural constituida también por 14 veredas. Colinda al Norte con el municipio de Soacha, al Sur con Pasca y Fusagasugá, por el Oriente con Soacha y al Occidente con Silvania y Granada. Está a una altura de 2700 m.s.n.m y registra una temperatura promedio de 14°C [4]. En la figura 1 es posible observar la ubicación del municipio en la cuenca media del Río Bogotá.

Según el último censo realizado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), el municipio contaba para el 2005 con una población de 31.675 habitantes [5]; sin embargo por medio de las proyecciones realizadas por esta entidad se conoció que Sibaté para el año actual (2015) cuenta con 38.412 habitantes aproximadamente [6]. Su economía está basada principalmente en la agricultura y ganadería, según el Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT) del municipio, el área rural destinada a la producción agropecuaria es de aproximadamente 6.252 hectáreas de las cuales se aprovechan alrededor de 1300ha, sembrando productos como papa, fresa, arveja y uchuva; por otro lado se encuentra el sector pecuario basado fundamentalmente en la explotación bovina, que abarca: ganadería de leche, carne y doble propósito. Existe también un sector industrial compuesto por reconocidas industrias nacionales e internacionales como es el caso de: Eternit, Textiles Konkord, Proalco y Cauchosol. [4].

2.1.2. Características Biofísicas

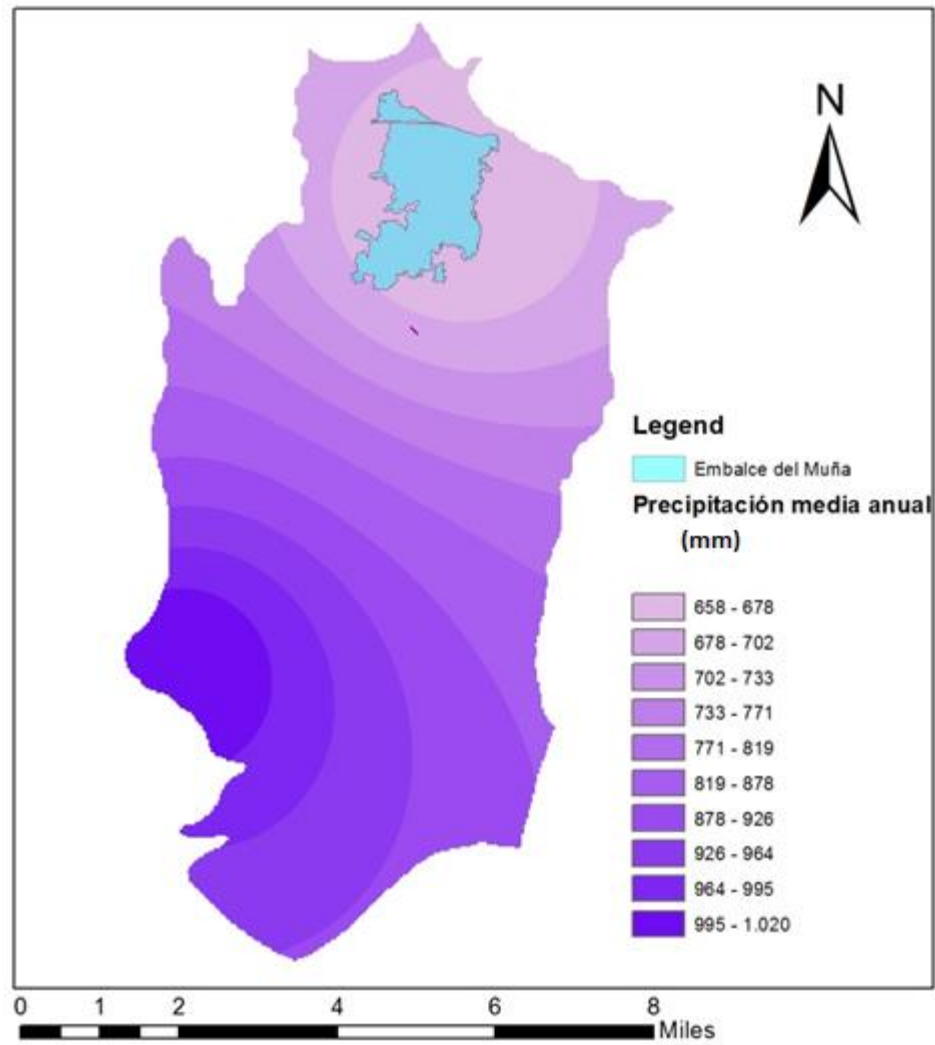
2.1.2.1. Precipitación

Debido a que la estación climatológica El Muña fue cerrada en el año 2002 y por tanto los datos disponibles no representan la condición actual de la zona, fue necesario realizar una interpolación en ArcGIS 10.1 usando los valores de precipitación registrados en un mismo periodo por cuatro estaciones vigentes cercanas al municipio, las estaciones empleadas para dicho procedimiento fueron: Paraíso Pérdido, Guaraní El Peñón, Boquemonte y Apostólica.

Figura 2. Mapa de precipitación.



MAPA DE PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL DE SIBATÉ



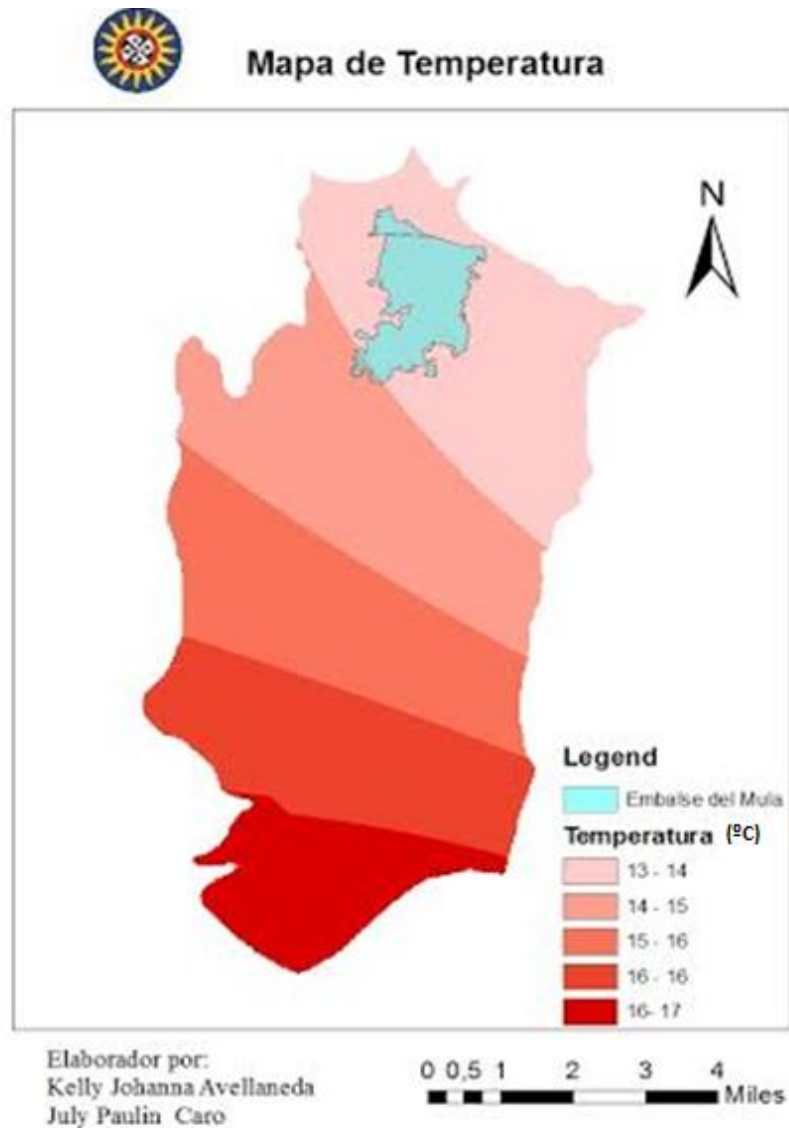
ELABORADO POR:
Kelly Johanna Avellaneda
July Paulin Caro

Fuente: Las autoras.

En la figura 2 se observa que la precipitación es mayor en la zona Sur de Sibaté, con un valores de precipitación media comprendidos entre 995 - 1020 mm anuales, por el contrario al Norte se evidencian valores que oscilan entre 658 y 678 mm al año, estableciéndose como la zona de baja precipitación del municipio.

2.1.2.2. Temperatura

Figura 3. Mapa de temperatura.



Fuente: Las autoras.

Se conoce que Sibaté presenta una temperatura promedio de 14°C, sin embargo para exponer la variación de temperatura de este municipio fue elaborada una interpolación con las estaciones: Universidad Fusagasugá, El Delirio, Doña Juana y Boquemonte, teniendo como resultado promedio de temperatura un intervalo entre 13 y 14°C en el área del embalse del Muña y un evidente aumento hacia la zona Norte hasta registrar 17°C.

2.1.2.3. Hidrografía

La hidrografía del municipio de Sibaté tiene como actores principales los ríos Aguas Claras y Muña, los cuales cruzan el territorio municipal desde el Sur oriente hasta el Noroccidente y confluyen en el Embalse del Muña. Así mismo se encuentran la Quebrada Honda que baña el Sur del Municipio de oriente a Occidente compartiendo límites territoriales con Pasca [7].

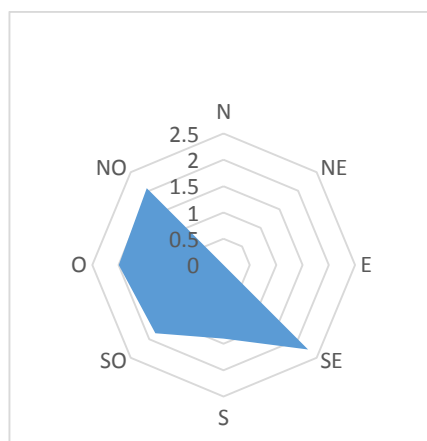
El río Aguas Claras nace a 3.700 m.s.n.m en la zona de páramo del oriente del municipio de Soacha, este río es drenado por 25 cauces entre otros las siguientes quebradas: Hato Viejo, Hungría, Las Mirlas, Dos Quebradas, y Usabá. Por otro lado el Río Muña nace a 3.400 m.s.n.m y recorre 16 km por las veredas de San Miguel, San Fortunato y Perico; es drenado por 16 quebradas [7].

Dichas fuentes hídricas son de gran importancia para el Municipio, debido a que la mayor parte de su territorio es rural y se presenta un constante desarrollo de la actividad agropecuaria, por ende la necesidad de abastecer con agua de calidad, tanto a los habitantes del campo como a los cultivos allí instaurados. Debido a la situación de la calidad del agua del cuerpo de agua y la prohibición para ser utilizada en actividades de riego, existen diversos acueductos veredales que son abastecidos por fuentes hídricas confiables; principalmente los Ríos Aguas Claras y Muña.

2.1.2.4. Viento

La dirección predominante de los vientos es Sureste, en casi todo el año. En los meses de julio y agosto vienen del Suroeste [8]. La velocidad media es del 1,9 m/seg.

Grafico 1. Rosa de los vientos



Fuente: las autoras

En la gráfica 1 se evidencia el promedio de la velocidad y dirección del viento de todo el año, para este grafico se tomó los datos promedios de la CAR y se determinó la velocidad media del viento a través del promedio de los meses.

2.1.3. Servicios Públicos

El Municipio cuenta con las empresas públicas municipales de Sibaté, las cuales se encargan de los servicios de aseo, alcantarillado y de suministrar el agua potable a los habitantes. Esta empresa cuenta con una Planta de Tratamiento de tipo convencional, diseñada totalmente en concreto reforzado, se encuentra constituida por 2 floculadores, 2 sedimentadores y 4 filtros rápidos en los cuales se lleva a cabo los procesos de floculación, sedimentación y filtración para la eliminación de sustancias flotantes, olores, colores, turbiedad y sustancias químicas [9]. Por otro lado en el sector rural el servicio de acueducto es prestado por el Acueducto Regional AGUASISO, teniendo un área de cobertura de ocho veredas de Sibaté y seis de Soacha y Granada. En las demás Veredas el servicio es prestado por los siguientes acueductos comunitarios: Delicias y Santa Teresa; La Honda; Usabá Julio César Beltrán, Usabá La Cantera; Romeral; Bradamonte; Aguas Claras, La Macarena; Chacua; San Benito [7].

Las empresas públicas municipales de Sibaté también se encargan del servicio de alcantarillado del Municipio, el cual consta de un sistema convencional de tipo combinado, una parte construido en tubería de concreto y otra en gres con diámetros que oscilan entre 6 pulgadas (6") y 1.5 metros, con una longitud total de 27.375 metros lineales aproximadamente, distribuidos entre los siete (7) colectores que evacuan las aguas residuales al interceptor perimetral y este vierte las aguas servidas finalmente al embalse del Muña.

2.1.4. Salud

Claramente el medio ambiente es un factor que influye en la salud de las personas, para este caso, es evidente la problemática de contaminación del sector y sus efectos relacionados, los cuales perturban el estado de salud y el desarrollo de la comunidad de Sibaté [7]. Según el perfil de morbilidad de Sibaté elaborado por la Secretaria de Salud Municipal al analizar los Registros Individuales de Prestación de Servicios de Salud (RIPS) del periodo comprendido entre enero y septiembre de 2011, suministrados por las IPS del municipio; las principales diez causas de enfermedad entre los habitantes son las siguientes:

Tabla 1. Principales enfermedades presentadas en el municipio.

No.	DIAGNOSTICO CIE-10	FREC	%
1	Enfermedad Hipertensiva	3384	9%
2	Enfermedad infecciosa del tracto respiratorio superior	2139	6%
3	Infecciones de la piel y subcutáneas	1247	3%
4	Otras enfermedades de las vías respiratorias altas	1006	3%
5	Otras enfermedades del sistema urinario	1001	3%
6	Enfermedades de la columna vertebral y de la espalda	957	3%
7	Infecciones intestinales	888	2%
8	Enfermedades de la boca y los dientes	880	2%
9	Enfermedades del esófago, estómago y duodeno	859	2%
10	Enfermedades infecciosas de las vías respiratorias inferiores	721	2%
	Resto de Causas	23188	64%
	TOTAL	36270	100%

Fuente. [10]

Se evidencia que la primera causa de morbilidad en el Municipio es la Hipertensión, presente principalmente en la población adulta mayor de 45 años; en segundo lugar se presentan las enfermedades infecciosas de las vías respiratorias superiores como la gripe común, faringitis, laringitis o sinusitis. De igual forma dentro de esta lista y en los primeros puestos se encuentran otras enfermedades también de las vías respiratorias altas registradas con menor frecuencia. Las infecciones intestinales ocupan el puesto número 7 en la lista, estas enfermedades; pueden ser consecuencia del deterioro ambiental causado por la degradación del embalse del Muña, teniendo en cuenta que la afectación de la calidad de recursos hídrico, litosférico y atmosférico, acarrea relaciones sinérgicas para el deterioro del medio ambiente y por ende la salud de las comunidades [11]. Por ultimo las enfermedades de las vías respiratorias inferiores también se presentan en la población, siendo estas de mayor importancia; más por su impacto y gravedad en la salud que por la proporción registrada.

2.2. Marco Teórico

2.2.1. El embalse del Muña

Uno de los sitios representativos del municipio es el embalse del Muña, el cual fue construido entre los años 1940 y 1944, con el fin de almacenar las aguas de los ríos Aguas Claras y Muña; pero en 1967 se inició el bombeo de agua del río Bogotá hacia el Cuerpo de agua, lo que afectó la calidad del agua almacenada, originando la actual contaminación ambiental de la zona aledaña al embalse del Muña producida por residuos que transportan las aguas que bajan por el río Bogotá, provenientes del vertimiento de aguas residuales industriales, de mataderos y «curtiembres», además de toda la masa orgánica generada por gran parte de la ciudad de Bogotá [12].

Según PBOT del municipio de Sibaté, el embalse del Muña es considerado como un factor determinante en el deterioro de la calidad de vida de la población, debido a la posible generación de impactos negativos en el medio ambiente, la salud, la economía, la actividad social, comunitaria, familiar, administrativa y laboral; por lo tanto debe ser tratado de una manera especial. El plan prohíbe en cualquier parte del territorio municipal, el almacenamiento o depósito de aguas contaminadas para ser utilizadas en cualquier actividad industrial, agrícola, comercial, recreativa o deportiva, y determina las áreas cercanas a la represa del Muña como zonas de alto riesgo para localización de asentamientos humanos [3].

2.2.2. Las fresas

Esta fruta se cultiva ampliamente en los departamentos de Cundinamarca (Funza, Mosquera, Cajicá, Sibaté, Subachoque y Chocontá), Antioquia (Las palmas, San Pedro, Rionegro, y la Ceja), Norte de Santander, Nariño y Cauca. Es una planta herbácea perenne, pertenece a la familia de las *rosáceas* y al género *Fragaria*, posee tallos cortos, sus hojas son ovales, trofloriadas y con pendúculo largo. Sus flores son blancas, hermafroditas y agrupadas en ramas de 3 a 11.

100 gr de fruta comestible contiene:

Tabla 2. Contenido nutricional de la fresa.

Agua	89.6 g
Proteínas	0.7g
Grasas	0.5 g
Carbohidratos	7 g
Fibra	2.2 g
Cenizas	0.4g
Calcio	25.0 mg
Fósforo	26 mg
Hierro	0.8 mg
Vitamina A	1 U.I
Tiamina	0.02 mg
Riboflavina	0.04 mg
Niacina	0.6 mg
Ácido Ascórbico	60 mg
Calorías	40

Fuente: [13]

Para el cultivo de fresa, es necesario un clima frío, con una temperatura comprendida entre 11°C y 18°C. En Colombia se encuentra la temperatura apta entre 1800 y 2600 metros sobre el nivel del mar. Para un adecuado cultivo, el terreno debe abonarse y fertilizarse a base de nitrógeno, aplicando 30 kilos por hectárea de NPK (15-15-15) [14].

2.2.2.1. Siembra

En los cultivos de fresa se utiliza principalmente surcos de 70 a 80 cm de ancho y de 20 cm de altura. En cada uno de estos surcos se siembran las plantas a una distancia de 30 cm. Por medio de esta técnica se puede obtener una densidad aproximada a 55.000 plantas por hectárea; se debe tener en cuenta la profundidad adecuada con el fin de prevenir que las raíces queden expuestas [15].

En el manejo de la plantación se utiliza polietileno negro, con un grosor de 0.2 a 0.4 mm que a su vez contiene un aditivo que lo protege de los rayos ultravioleta, igualmente este material impide que la fruta tenga contacto directo con el suelo y disminuye los problemas fitosanitarios, el crecimiento de malezas y aumenta la retención de humedad y la temperatura del suelo [15].

En el cultivo de estudio se utiliza un sistema de dispersión para abastecer la cantidad de agua necesaria para el desarrollo ideal de las fresas. Se realiza una fertilización con Master 13-40-13 de Valagro para reponer la extracción constante de los nutrientes del suelo y de esta manera mantener la tierra fértil [15].

2.2.2.2. Cultivo en Sibaté

Para el desarrollo del cultivo en este municipio primero se realiza la selección del lote y preparación del suelo, segundo se acondicionan las características del terreno para que no afecten la relación planta-suelo-agua y aire [16].

Los surcos deben ser altos para permitir el aumento de la temperatura del suelo mediante la exposición del sol de los costados, al mismo tiempo se evita que los frutos se ensucien o sean maltratados durante el tránsito de los operarios, facilitar las labores de manejo y si llega a llover no se nos ensucien las plantas. [16].

La profundidad en la siembra es importante, debe tener una profundidad de unos 4 cm de esta forma se evita que las raíces queden expuestas y se previene la deshidratación de la planta. Sin embargo una siembra profunda puede asfixiar la planta. Después de la siembra se retiran las flores pequeñas, ya que estas influyen negativamente en el crecimiento [16].

2.2.3. Plomo

El plomo se encuentra en el ambiente en forma natural, sin embargo los niveles altos registrados en el ambiente proceden de actividades humanas, estas concentraciones han ido en aumento más de mil veces durante los tres últimos siglos como consecuencia de actividades antrópicas [17]. Debido a que este metal es empleado para diferentes aplicaciones como materiales de construcción, pigmentos para cerámicas vidriadas, tubos de suministro de agua, municiones, pinturas, películas protectoras, manufactura de baterías ácidas, aditivo de gasolina, cosméticos, espermicidas y preservante de vinos, debido a que reduce la fermentación [18].

En el suelo el plomo tiene una gran afinidad con las sustancias húmicas y el pH, depende de ellos para fijarse, pero debido a que es poco móvil permanece en los horizontes superiores y no es asimilado en grandes cantidades por las plantas [19]. La absorción de metales pesados se da por medio del movimiento de estos desde una solución en el suelo, en la raíz de la planta, dicha solución se transporta de la raíz a los tallos, llegando hasta el fruto [20].

El plomo es tóxico aún a muy bajos niveles de exposición y tiene efectos agudos y crónicos en la salud humana. Esta sustancia tóxica puede causar daños de múltiples órganos, sean neurológicos, cardiovasculares, renales, gastrointestinales, hematológicos y efectos en la reproducción [17].

2.2.3.1. Movilidad del plomo

La movilidad de plomo en el suelo depende del pH del suelo y de materia orgánica; en general la relativa inmovilidad de absorción de plomo en el suelo disminuye su biodisponibilidad para los seres humanos, la vida terrestre y otros [17].

La capacidad de retención aumenta a medida que se incrementa la concentración de plomo en equilibrio hasta llegar a un valor casi constante. Este comportamiento se presenta cuando la superficie del suelo llega al punto de saturación [21].

2.2.3.2. Factores que afectan la acumulación del plomo

Potencial hidrogeno (pH): El pH tiene un importante efecto sobre la materia orgánica. Además el pH, es un parámetro importante para definir la movilidad del catión (Pb), debido a que en medios de pH moderadamente alcalino se produce la precipitación como hidróxidos. Sin embargo, en medios muy alcalinos estos hidróxidos pueden pasar de nuevo a la solución como hidroxicomplejos [19].

Materia orgánica: La disponibilidad del plomo en suelo depende de la formación de complejos con sustancias húmicas, una vez este metal forma estos complejos; facilita su solubilidad, disponibilidad y dispersión a lo largo del perfil [22]. Así mismo, la materia orgánica puede limitar la disponibilidad del plomo para las plantas, debido a su alta capacidad de adsorción hacia este metal.

La estabilidad de muchos de estos complejos frente a la degradación por los organismos del suelo es una causa muy importante de la persistencia del metal. Pero también la presencia de abundantes quelatos puede reducir la concentración de otros iones tóxicos en la solución del suelo [19].

Intercambio catiónico: La capacidad de intercambio catiónico es la cantidad de iones que pueden ser adsorbidos de forma intercambiable en el suelo. En cuanto la capacidad de intercambio catiónico sea mayor, el suelo incrementa su capacidad para fijar metales y estos estarán más tiempo disponibles para las plantas. En la mayoría de los casos existe selectividad o preferencia de un catión por otro, por lo tanto, es un proceso competitivo y reversible [19].

Contenido y tipo de arcilla: La mayor parte de las arcillas se caracterizan por tener cargas eléctricas principalmente negativas en su superficie. Estas cargas son responsables de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) del suelo, y constituyen un freno al movimiento de los cationes metálicos en la solución del suelo, hacen que los metales permanezcan por más tiempo en el suelo y disminuyen su solubilidad y biodisponibilidad [19].

2.2.4. Espectrofotometría de absorción atómica

Esta técnica se emplea en la determinación cualitativa y cuantitativa de unos 70 elementos: además se realiza en disoluciones en que el disolvente es transparente a la longitud de onda de trabajo, cabe resaltar que para realizar la determinación solo se puede llevar a cabo en un medio gaseoso. Este método de determinación es unielemental, ya que el elemento a determinar depende de la fuente de luz que es específica para cada uno; también es necesario un sistema de modulación que permita discriminar entre la radiación procedente de la fuente y la emitida por la llama; Para excitar los átomos del elemento a determinar es necesario usar aire como oxidante y acetileno como combustible [23]

La espectroscopia de absorción atómica sigue la ley de Lambert-Beer, la cual relaciona la absorción de luz de con la concentración de un compuesto en disolución [24]. El equipo está compuesto de tres partes principales, la fuente de radiación (lámpara de cátodo hueco), el medio en donde se obtiene los electrones y el sistema que cuantifica y registra la intensidad de luz recibida, comparándola con la intensidad emitida por la fuente y transformándola en absorbancia. Los atomizadores con llama convierten los átomos combinados en átomos que se encuentran en su estado fundamental, y se les suministra la cantidad de energía necesaria en las muestras para poder disociar las moléculas. Cada elemento tiene una longitud de onda apropiada para ser absorbida por este; la utilizada para la detección del Pb es 217 nm [23].

2.2.4.1. Calibración del espectrofotómetro de absorción atómica

Para el análisis de cualquier muestra, es necesario calibrar el equipo; ya sea por una curva de calibrado o a través del método de adición, el primero consiste en soluciones patrones que contienen el elemento a determinar en una concentración conocida, se grafica la absorbancia de cada solución patrón frente a la concentración conocida. Se procura trabajar en el intervalo lineal de la curva, una vez obtenida la curva patrón se atomiza la muestra problema y se mide la absorción de la misma, utilizando idénticas condiciones a las usadas cuando se preparó la curva patrón. El segundo método consiste en añadir un volumen conocido de la muestra problema a cuatro matraces aforados; al primer matraz no se le añade nada, sin embargo al segundo se le añade 1ppm; en el tercer matraz se añade un volumen doble del mismo patrón. Y por último en el cuarto matraz se le añade 3ppm. Una vez hecho esto, se procede a realizar las medidas de absorbancia de cada matraz. El primer matraz dará una lectura, el segundo matraz dará la misma lectura que el anterior más la señal propia de 1ppm. Extrapolando sobre el eje negativo de las X se encuentra el valor de la concentración de la muestra desconocida. Para

que este método sea válido se debe obtener una curva de calibrada perfectamente recta [25].

2.2.4.2. Ventajas y desventajas

En la siguiente tabla se exponen las ventajas y desventajas que presenta la espectrofotometría de absorción atómica con llama directa.

Tabla 3. Ventajas y Desventajas de la técnica

Ventajas	Desventajas
- Puede analizar hasta 82 elementos de forma directa. - Tiene una precisión del orden del 1% del coeficiente de variación. - La preparación de la muestra suele ser sencilla. - Tiene relativamente pocas interferencias. - Su manejo es sencillo. - El precio es razonable.	- Sólo pueden analizarse las muestras cuando están en disolución Tienen diferentes tipos de interferencias. - Solo pueden analizar elementos de uno en uno. - No se pueden analizar todos los elementos del Sistema Periódico. - Por ser una técnica de absorción, sus curvas de calibrado sólo son lineales en un corto rango de concentración

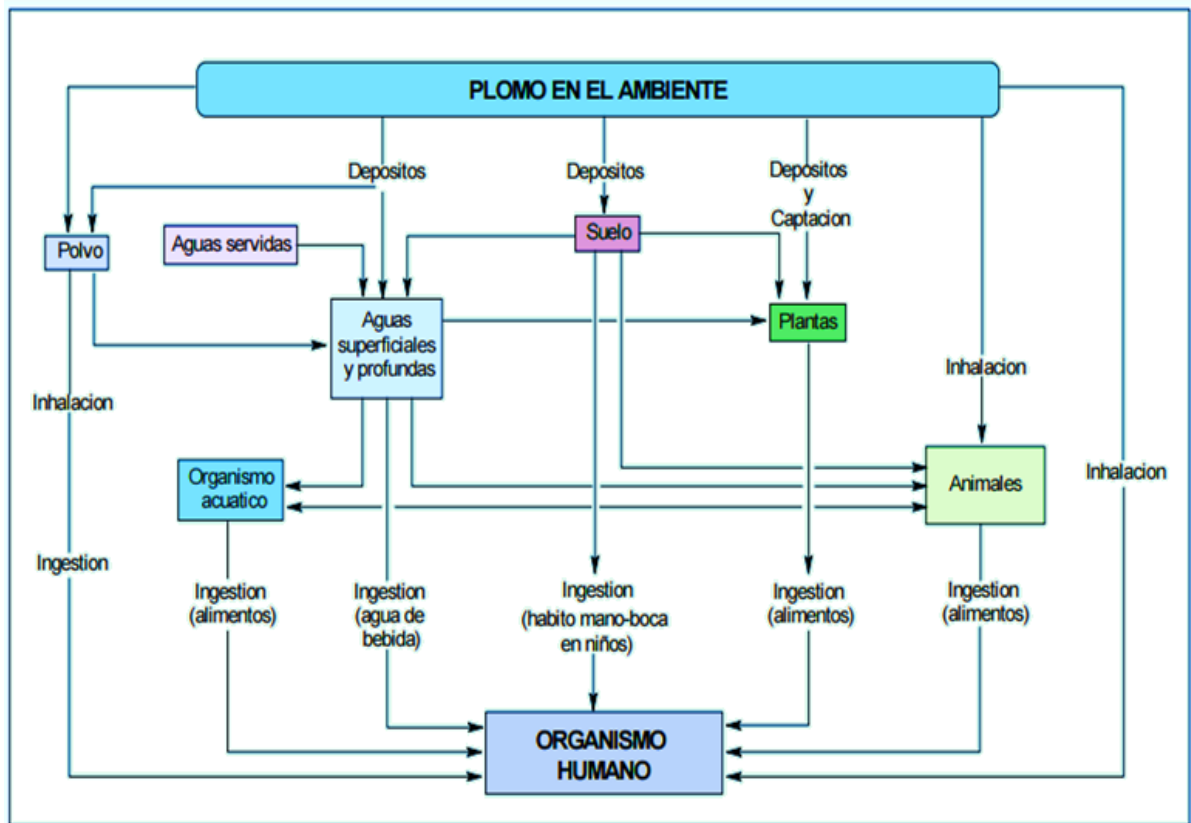
Fuente. [25]

2.2.5. Cinética ambiental

La cinética ambiental es el movimiento de los contaminantes a través del aire, agua, suelo y biota; así como sus interacciones y modificaciones en cada uno de estos ámbitos. El contaminante que es incorporado al ambiente se dispersa y se transporta a ciertas distancias dentro del medio y se transfiere hacia otros [26].

Principalmente el Pb es un metal toxico presente en bajas cantidades y de forma natural en la corteza terrestre, sin embargo al ser introducido al ambiente por alguna actividad humana, las concentraciones aumentan y facilita que el plomo se convierta en un contaminante de alta ubicuidad, como se evidencia en la figura 4 [26].

Figura 4. Modelo de la cinética del plomo



Fuente. [27]

El comportamiento del plomo en agua depende del tipo de compuesto en que este presente el metal, los carbonatos, fosfatos y sulfatos de plomo poseen baja solubilidad, lo cual interfiere en su degradación y favorece el depósito de estos en sedimentos y partículas suspendidas, convirtiéndolos en compuestos de mayor persistencia en el ambiente. Contrario a lo anterior están los acetatos y nitratos de plomo, los cuales son más solubles y de fácil eliminación. Igualmente el pH influye en el movimiento de este metal, debido a que disminuye la interacción con los sedimentos y por tanto aumenta la presencia de plomo en el agua [28].

Igual que en el agua, el movimiento del plomo en suelo depende de diversos factores. Si la materia orgánica y coloides inorgánicos aumenta, también aumenta la interacción del metal con la superficie; pero cuando la interacción con el suelo disminuye, la solubilidad del plomo aumenta y con esta la probabilidad de contaminar acuíferos. Asimismo si este presenta un pH ácido, el plomo se solubiliza y puede entonces lixiviarse contaminando acuíferos o puede ser captado por las

plantas, con pH mayor a cinco, en un suelo con más de cinco por ciento de materia orgánica, el plomo se retiene en los primeros cinco centímetros del sustrato [28].

También se conoce la presencia de este metal toxico en el aire, después de ser liberado en las emisiones de algunos automóviles que aún usan gasolina plomada o por emanaciones industriales. Estando suspendido el Pb puede ser transportado largas distancias por acción del viento; para luego llegar al suelo y depositarse allí, posteriormente con ayuda de las precipitaciones y la inclinación del terreno este metal puede ser arrastrado hacia aguas superficiales, acumularse en los sedimentos o ser absorbido por las plantas por medio de sus raíces o por el uso de dicha agua para el riego de las mismas y por ultimo introducirse en la cadena alimenticia [28].

En la siguiente tabla se presentan los compuestos de plomo más comunes en el ambiente y su comportamiento en suelo, agua y aire.

Tabla 4. Exposición de los diferentes medios al plomo y sus compuestos

	SUELO	AGUA	AIRE
Óxido de Plomo	No se lixivian en el suelo a causa de su relativa insolubilidad. Se presume que se convierten en formas más insolubles como sulfato, fosfato de plomo, sulfuro de plomo. También forma compuestos complejos con la materia orgánica y arcillas, por lo que su movilidad se limita.	Al ingresar a un medio acuático, se disolverá parcialmente y el resto se asentará. En el caso del monóxido de Plomo en su estado de disolución formará ligandos, los cuales variarán dependiendo del pH.	Generalmente emitidos como partículas las cuales se depositan por efecto de gravedad. Se puede transformar en carbonato, el cual junto con los óxidos, son los más abundantes en la atmósfera.
Arseniato de Plomo	Tiene presencia en el suelo por la aplicación de plaguicidas. Es un compuesto muy persistente y su remoción se logra mediante lavados El transporte de este compuesto en el medio ambiente se encuentra ampliamente controlado por procesos de absorción y desorción en suelo y sedimentos.		

	SUELO	AGUA	AIRE
Carbonato de Plomo	No se lixivia al suelo por su baja solubilidad.	Su concentración en el medio acuático está limitada por su baja solubilidad, el resto forma complejos con la materia orgánica.	Forma partículas que se depositan en plantas y en el agua.
Sulfato de Plomo	La lixiviación no es importante bajo condiciones normales. Es absorbido por algunas plantas.	El sulfato de plomo liberado en agua se precipita en su mayoría debido a su baja solubilidad	Es la principal forma de plomo en el aire y se presenta como partículas sujetas a deposición gravitacional.
Sulfuro de Plomo	No lixivia debido a su relativa insolubilidad. Cuando se humedece forma la anglesita y la cerusita.	Al entrar en el medio acuático, la mayor parte se asienta por su baja solubilidad y una parte mínima se disuelve.	Se emite a la atmósfera en forma de partículas que posteriormente se depositan por la acción de la gravedad. Puede transformarse en la atmósfera en carbonato y óxido.
Tetraetilo de Plomo	Se espera que tenga poca movilidad en los suelos	El tetraetilo de plomo al ser liberado en aguas se adsorbe a los sólidos suspendidos y otra parte se volatiliza.	Al ser liberado a la atmósfera, se degrada por la reacción con radicales hidroxilos producidos fotoquímicamente. La vida media para esta reacción es de 6.3 horas.

Fuente. [29]

2.2.6. Toxicocinética

2.2.6.1. Absorción

El plomo puede ingresar al organismo por tres vías de exposición (inhalación, ingestión y cutánea), en este documento se hablara de la absorción de plomo por ingestión, teniendo en cuenta que el ingreso de este metal por vía oral puede alcanzar proporciones peligrosas que afectan la salud del consumidor; las consecuencias pueden ser mayores cuando dicho organismo presenta una disminución o falta de hierro, calcio, fósforo, zinc y vitaminas (C, E y Tiamina) facilitando la absorción de este en el organismo.

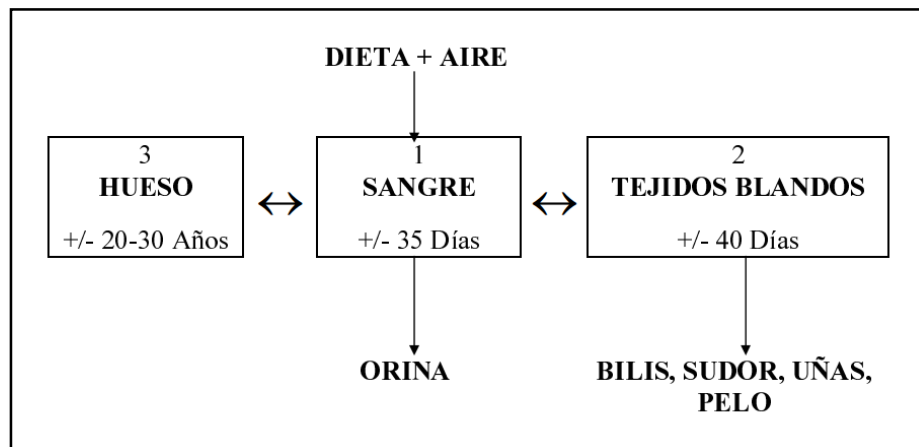
En esta ruta el plomo se fija en la saliva, se traga y es absorbido llegando a la sangre, la cual transporta y distribuye a otros tejidos corporales; existe mayor absorción de éste si la partícula es pequeña, igualmente si hay gran ingesta de grasa o si el estómago está vacío. La edad es otro factor fundamental, si el individuo es menor a cinco años, la absorción de plomo es de 30 a 50% mientras que el adulto absorbe el 10% de plomo ingerido por esta vía [30].

2.2.6.2. Distribución

Al ser absorbido por el organismo, el plomo pasa al torrente sanguíneo en donde se distribuye a los diferentes compartimentos. El 95 % del plomo presente en la sangre está unido a los eritrocitos teniendo una vida media de 35 días en el compartimento sanguíneo, teniendo en cuenta grandes variaciones individuales como la especie, disposición genética, sexo, edad, enfermedades, entre otras. El segundo compartimento lo constituyen los tejidos blandos (tejido nervioso, riñón, hígado, entre otros). Sin embargo la vida media del plomo en este compartimento es de 40 días [31].

El esqueleto es el compartimento que contiene la mayor cantidad (80-90%) del plomo almacenado en el organismo. La vida media de este metal en el hueso es de 20 a 30 años, ya que una parte de este es depositado a nivel óseo y se encuentra en forma inestable, por lo tanto es fácilmente movilizable en determinadas condiciones (acidosis y decalcificación) y en equilibrio con la sangre. El resto queda almacenado en tejido óseo compacto y va aumentando progresivamente a medida que continúa la exposición. Tanto los tejidos blandos como la sangre constituyen las unidades de intercambio activo, mientras que el esqueleto constituye la unidad de almacenamiento o de intercambio lento [31].

Figura 5. Vida media del plomo en el organismo



Fuente: [32]

Este contaminante también puede atravesar la barrera placentaria, el plomo comienza a ser detectado en el feto entre las 12 y 14 semanas de gestación, incrementándose conforme avanza su maduración. La distribución corporal en el feto es similar al adulto. En madres expuestas existe un aumento de abortos espontáneos [33].

2.2.6.3. Eliminación

El plomo se excreta fundamentalmente por vía renal 75% y aquella porción que no se absorbe se eliminan por heces principalmente y un 8% por sudor. Sin embargo, la excreción renal es la de mayor importancia toxicológica debido a que se hace por filtración glomerular. Por medio de la heces se puede eliminar el plomo que no fue absorbido por el intestino y es excretado por la vía biliar, a diferencia de la orina que elimina entre un 40 y 70% de lo absorbido por todas las vías. Aunque también es posible la eliminación por medio de la saliva y el sudor [31]

2.3. Marco Conceptual

Absorción (Biológica): Proceso por el cual un toxico atraviesa membranas o capas celulares hasta llegar al torrente sanguíneo [34].

Absorción (Química en superficies y coloides): Proceso por el cual un componente es transferido entre dos fases en contacto integrándose en una de ellas [35] .

Absorción (Radiación): Fenómeno en el que una radiación transfiere parte o toda su energía a la materia sobre la que incide [35] .

Alimento contaminado: Alimento que contiene agentes y/o sustancias extrañas de cualquier naturaleza en cantidades superiores a las permitidas en las normas nacionales, o en su defecto en normas reconocidas internacionalmente [36].

Alimento de mayor riesgo en salud pública: Alimento que, en razón a sus características de composición especialmente en sus contenidos de nutrientes, actividad acuosa y pH, favorece el crecimiento microbiano y por consiguiente, cualquier deficiencia en su proceso, manipulación, conservación, transporte, distribución y comercialización, puede ocasionar Trastornos a la salud del consumidor [36].

Agente quelante: Son compuestos que disminuyen la toxicidad al enlazar de modo primordial y selectivo ciertos iones metálicos, polivalentes con lo que tales iones pierden la posibilidad de ejercer su actividad biológica [37].

Bioacumulación: Aumento progresivo de la cantidad de una sustancia en un organismo o parte de él, como consecuencia de que el ritmo de absorción supera la capacidad del organismo para eliminar la sustancia [35].

Hace referencia a la acumulación neta, con el paso del tiempo, de metales (u otras sustancias persistentes) en un organismo a partir de fuentes tanto bióticas (otros organismos) como abióticas (suelo, aire y agua) [38].

Cinética ambiental: Movimiento de sustancias tóxicas por los ecosistemas a través de aire, agua, biota y tierra y factores que determinan estos fenómenos; así como sus interacciones y modificaciones en cada uno de estos ámbitos. [26].

Exposición: Situación en la cual una sustancia puede incidir, por cualquier vía, sobre una población, organismo, órgano, tejido o célula diana [35].

Fertilizante: Cualquier material natural o industrializado, que contenga al menos cinco por ciento de uno o más nutrientes primarios (N, P_2O_5 , K_2O). Los fertilizantes

son necesarios para proveer a los cultivos con los nutrientes del suelo que están faltando. Con estos, los rendimientos de los cultivos pueden a menudo duplicarse o más aún triplicarse [39].

Intoxicación: Proceso patológico, con signos y síntomas clínicos, causado por una sustancia de origen exógeno o endógeno [35].

Es la reacción del organismo a la entrada de cualquier sustancia tóxica (veneno) que causa lesión o enfermedad y en ocasiones la muerte. El grado de toxicidad varía según la edad, sexo, estado nutricional, vías de penetración y concentración del tóxico [40].

Limite tolerable: Representa la dosis de un producto (expresada en mg/kg/día) que puede penetrar en el organismo humano diariamente, durante toda la vida, sin que resulte perjudicial para la salud. Se estiman a partir de los valores experimentales de NOAEL y LOAEL [35].

Dosis o concentración de exposición por debajo del cual no se producirá un efecto definido [41].

Órgano blanco o Diana: Órgano específico que va a ser lesionado [30].

Plomo: Metal escaso en la corteza terrestre, se encuentra en la galena, la anglesita y la cerusita. De color gris azulado, dúctil, pesado, maleable, resistente a la corrosión y muy blando, funde a bajas temperaturas y da lugar a intoxicaciones peculiares. Se usa en la fabricación de canalizaciones, como antidetonante en las gasolinas, en la industria química y de armamento y como blindaje contra radiaciones [42].

Tóxico: Es cualquier sustancia sólida, líquida o gaseosa que en una concentración determinada puede dañar a los seres vivos [40].

Toxicocinética: Estudio cuantitativo de los procesos que experimenta, en función del tiempo, un xenobiotico en un organismo. Esta sustancia extraña al individuo considerado, sufre unos procesos de absorción, distribución, localización, metabolismo y excreción [43].

Toxicodinamia: Proceso de interacción de una sustancia toxica con los lugares diana y las consecuencias bioquímicas y fisiopatológicas que conducen a efectos tóxicos [30].

Saturnismo: Enfermedad crónica producida por la intoxicación ocasionada por las sales de plomo [42].

2.4. Marco Institucional

Para este proyecto se resalta la participación de la alcaldía de Sibaté, pues fue la entidad encargada de contactar los agricultores de fresa del municipio dispuestos a permitir el desarrollo del muestreo en sus cultivos. Igualmente se nombra a la Universidad Santo Tomas, por aportar los recursos académicos necesarios para llevar a cabo esta investigación.

2.4.1. Alcaldía de Sibaté

El compromiso de la alcaldía de Sibaté es “brindar servicios con calidad, sustentados en principios de buen gobierno con la participación de todos los actores sociales, garantizando el desarrollo integral del ser humano con su territorio. Promueve el desarrollo integral de la población, el crecimiento económico y social para mejorar las condiciones de vida, ampliando las oportunidades y garantizando la equidad social” [44].

2.4.2. Universidad Santo Tomas

“Está inspirada en el pensamiento humanista cristiano de Santo Tomás de Aquino, consiste en promover la formación integral de las personas, en el campo de la educación superior, mediante acciones y procesos de enseñanza-aprendizaje, investigación y proyección social, para que respondan de manera ética, creativa y crítica a las exigencias de la vida humana y estén en condiciones de aportar soluciones a las problemáticas y necesidades de la sociedad y del país” [45].

Busca la comprensión humanista cristiana de la realidad colombiana y latinoamericana contemporánea, heredada de su larga tradición en el campo de la educación superior, en contexto de mundialización, inspira el quehacer de sus programas, con miras a asegurar la construcción del bien común y la realización de la justicia distributiva, y así reducir la exclusión social, económica, cultural y política. Vinculada a las distintas regiones del país, a través de sus seccionales y de sus programas de Universidad Abierta y a Distancia, es factor de desarrollo y mejoramiento de los

entornos y contextos donde opera. Incorpora el uso de nuevas tecnologías educativas como herramientas para la docencia y la investigación en todos los planes de estudio, y vincula a docentes y a estudiantes en proyectos compartidos para recuperar, adaptar y generar nuevos conocimientos en orden a la solución de los nuevos problemas de la sociedad y del país [45].

2.5. Marco legal

En la siguiente tabla se expone la normativa vigente, relacionada con el tema abordado en el trabajo.

Tabla 5. Disposiciones legales vigentes.

Norma	Descripción
Constitución política de Colombia	Artículo 8: Es obligación del Estado y de las personas proteger las riquezas culturales y naturales de la Nación.
	Título II: De los derechos, las garantías y los deberes Capítulo III: De los derechos colectivos y del ambiente Artículo 78 al 82: Expone el derecho a gozar de un ambiente sano y la obligación del estado de velar por la protección y regulación de los recursos naturales.
	Artículo 95: Numeral 8. Es obligación y deber de un colombiano, proteger los recursos culturales y naturales del país y velar por la conservación de un ambiente sano.
	Artículo 332: El estado es propietario del subsuelo y de los recursos naturales no renovables, sin perjuicio de los derechos adquiridos y perfeccionados con arreglo a las leyes preexistentes.
Decreto ley 2811 de 1974	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.
Ley 9 de 1979 (Código Sanitario)	Artículos 410-411-412, los cuales hablan del manejo benéfico para frutas y hortalizas.
Ley 99 de 1993	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones.
Ley 373 de 1997	Programa para el uso eficiente y ahorro de agua.

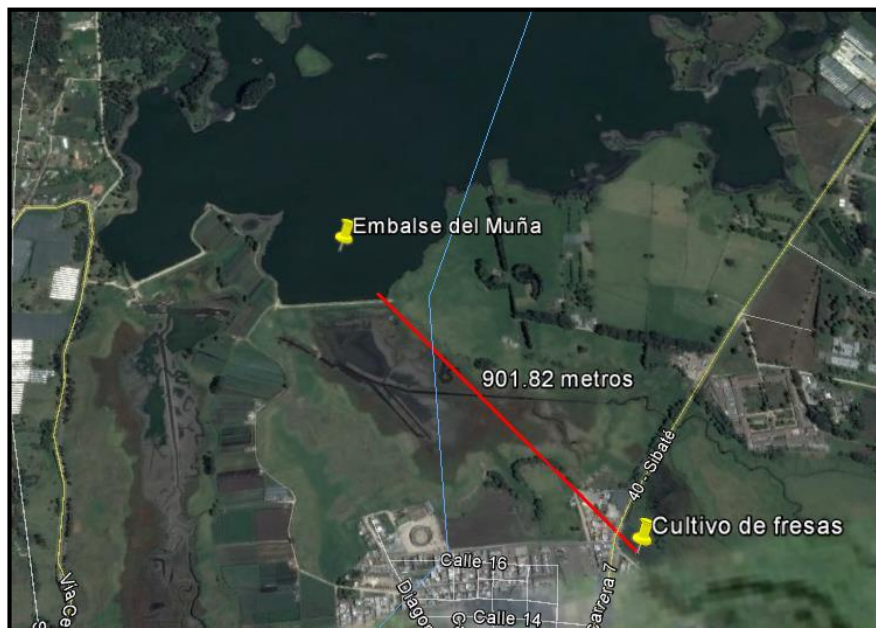
Norma	Descripción
Ley 388 de 1997	Ley de ordenamiento territorial y municipal. Capítulo II: Ordenamiento del Territorio Municipal. Capítulo III: Planes de Ordenamiento Territorial. Capítulo IV: Clasificación del Suelo
Decreto 1594 de 1984	Establece los criterios de calidad del agua para consumo humano, uso agrícola e industrial entre otros. De igual forma dicta las normas para residuos líquidos en cuerpo de aguas y en el alcantarillado público. Derogado por el Decreto 3930 de 2010, salvo los artículos 20 y 21.
Decreto 3930 de 2010	Establece los diferentes usos del agua. Aclarando en el artículo 13 el Uso agrícola del agua.
Resolución 2115 de 2007	El ministerio de la Protección Social y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. El artículo 5 expone las características químicas de sustancias que tienen reconocido efecto adverso en la salud humana, entre estas el Plomo.
Resolución 004506 de 2013	El Ministerio de Salud y Protección Social establece los niveles máximos de contaminación en los alimentos destinados al consumo humano, por tanto es de nuestro interés el artículo 4 numeral 11, Plomo.
Acuerdo número 043 de 2006	Establece los objetivos de calidad del agua para la cuenca del río Bogotá a lograr en el año 2020. Igualmente clasifica los usos del agua para cada una de las Subcuencas determinando para cada una parámetros específicos de calidad del agua.
(CODEX STAN 193-1995)	Norma general del Codex para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos
Organización Mundial de la Salud (OMS)	Establece que el límite permisible de concentración de plomo en suelo es de 25 mg/kg.

Fuente. Las Autoras

3. DESARROLLO CENTRAL

3.1. Lugar de muestreo

Figura 6. Distancia cultivo-Embalse.



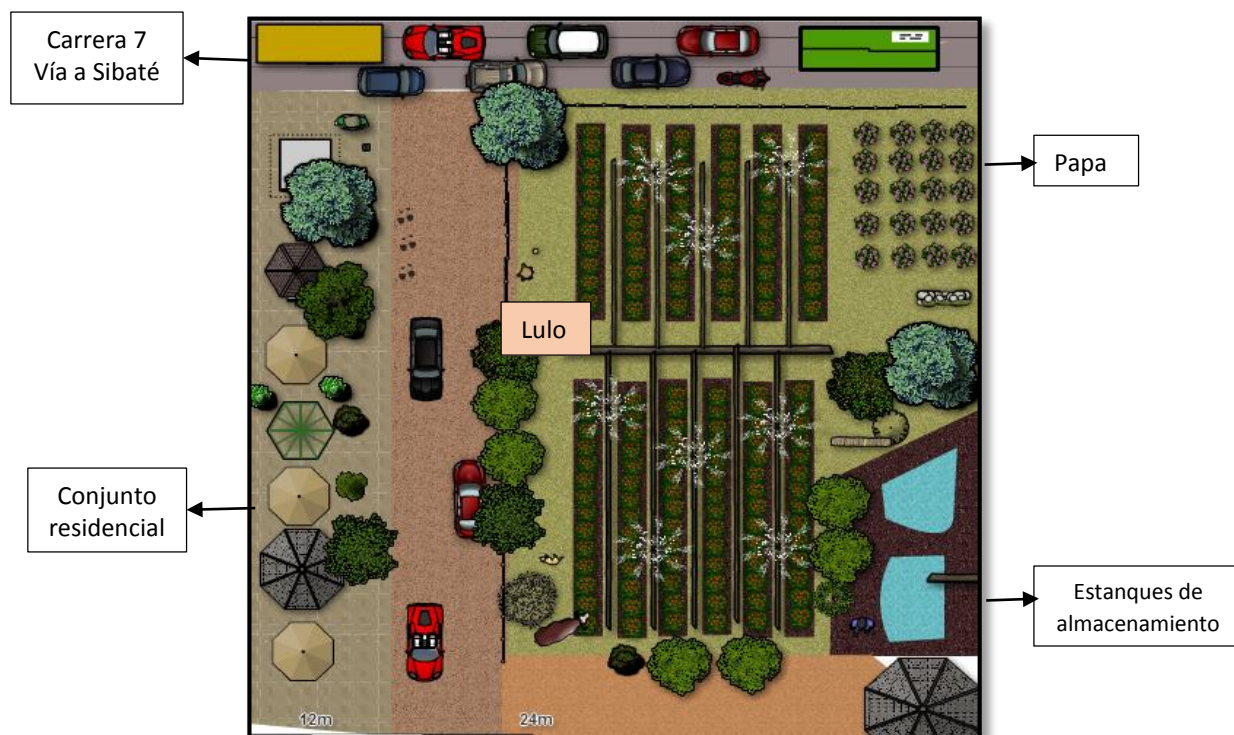
Fuente. Elaborado por autoras, tomado de Google Earth

El cultivo de fresa donde se realizó el muestreo se encuentra en la coordenadas $4^{\circ}29'46.67''$ N y $74^{\circ}15'23.32''$ O con una elevación de 2.576 m.s.n.m. Aunque está muy cerca del casco urbano, el cultivo se ubica dentro de la Vereda Delicias del Municipio de Sibaté, a una distancia de 901.82 metros del Cuerpo de agua del Muña.

Dicho cultivo comprende 1 hectárea con 70.000 plantas de fresa sembradas con un sistema de cobertura del suelo o acolchado dispuesto para evitar la evaporación del agua y de igual forma sirve como regulador hídrico y economizador de este recurso.

Como se evidencia en la figura 6 al Norte del cultivo esta la Carrera 7; principal vía de acceso al Municipio y por ende de alto flujo vehicular, al Occidente se encuentra una vía sin pavimentar y junto a esta el conjunto residencial Parques del Muña, al Oriente limita con un terreno baldío, por el cual pasa la quebrada que abastece el estanque del cultivo y el Río Aguas Claras en su camino hacia el embalse. En el predio además del cultivo de fresa como se muestra en la figura 7, se encuentra en menor proporción una siembra de papa y algunas plantas de lulo.

Figura 7. Representación del lugar de Muestreo.



Fuente: Las autoras.

En este cultivo se usa el fertilizante Master 13-40-13 de Valagro, el cual tiene los siguientes componentes:

Tabla 6. Composición fertilizante

Compuesto	Proporción
Nitrógeno Amoniacal	9.15%
Nitrógeno Nítrico	4.45%
Fósforo	39.66%
Potasio	13.75%
Azufre	5.5%
Boro	0.024%
Cobre	0.038%
Hierro	0.0038%
Manganeso	0.0073%
Zinc	0.0004%
agente quelante: EDTA	

Fuente: [46]

En dicho cultivo se aplica el insecticida y acaricida Oberón 240 de Bayer derivado del ácido tetrónico, con el fin de combatir la araña roja (*Tetranychus urticae*) con una dosis de 0.9 l/ha. Igualmente se emplea un bactericida elaborado a base de oxiclورو de cobre para controlar la aparición de *xanthomonas campestris*, las cuales afectan las hojas del cultivo de fresa.

Por otro lado el riego es realizado por sistema de aspersión cada 2 semanas por un período de 30 minutos. El Agua utilizada para esta actividad proviene de la quebrada tupia, cercana al predio y es conducida por medio de una manguera hasta un estanque de 4 m de profundidad por 2 de ancho y 6 m de largo aproximadamente, construido dentro de la finca (imagen1) con el fin de almacenar el agua necesaria para el sistema.

Imagen 1. Cultivo de fresas muestreado.

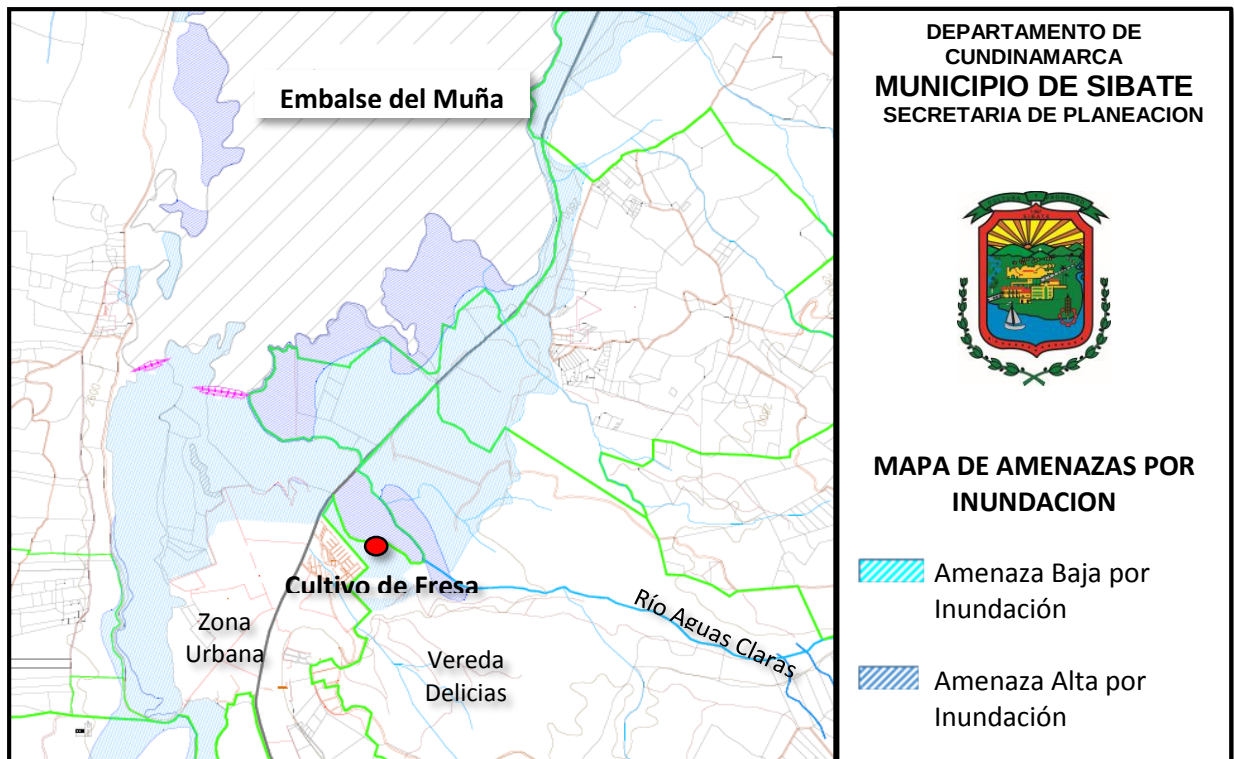


Fuente. Las Autoras

Aunque el cultivo de fresas donde se realizó el muestreo se encuentra muy cercano al cuerpo de agua, es posible que en temporada de lluvias se presenten inundaciones debido al alto nivel freático y la cercanía del Río Aguas Claras como se evidencia a continuación en el mapa de Amenazas por inundación de la figura 8

contenido en el ajuste al PBOT de Sibaté realizado en el año 2010. En dicho mapa se observa el cultivo de fresa muestreado dentro de la zona de amenaza baja por inundación y muy cerca de una zona de amenaza alta de inundación, lo anterior es de gran importancia; debido a que el agua que por un tiempo se pueda estancar en el terreno del cultivo, aportar cierta cantidad de plomo al suelo.

Figura 8. Mapa de Amenazas por Inundación.



Fuente. Las Autoras, tomado del PBOT de Sibaté

3.2. Cálculo del número de muestras

Para conocer el número de muestras y llevar a cabo el muestreo en suelo y fresas, se empleó la fórmula de la ecuación 1 muestras finitas, ya que se conocía la población total de plantas de fresas sembradas en la hectárea; siendo así las variables de la ecuación las siguientes:

Ecuación 1. Número de muestras finitas

$$n = \frac{Z^2 * P * Q * N}{E^2(N - 1) + Z^2 * P * Q}$$

Fuente. [47]

- N = Total de la población
- Z^2 = Valor critico correspondiente al nivel de confianza

Tabla 7. Nivel de confianza.

Nivel de Confianza	Z^2
90%	1.64
95%	1.96
99%	2.58

Fuente. [47]

- P = Probabilidad de ocurrencia del evento, cuando se desconoce se toma el 50%
- Q = Probabilidad de no ocurrencia del evento, $(1 - P)$
- E = Margen de error

Teniendo en cuenta que en esta investigación se conoció el total de la población, es decir el total de plantas de fresa sembradas en el cultivo y era necesario saber cuántos del total se tendrían que estudiar, se inició tomando el total de población con $N = 70.000$ plantas de fresa sembradas en el cultivo a muestrear.

Como se desconocía la probabilidad de ocurrencia del evento, fue necesario tomar P y Q con un porcentaje del 50%; por otro lado es importante resaltar que por asuntos de presupuesto, para cubrir el análisis de cada muestra en un laboratorio privado, fue preciso variar el nivel de confianza y el error permitido con el fin de reducir el número de muestras; por tanto en este estudio se tomó un nivel de confianza del 90%, para asegurar el valor de Z^2 en 1.64^2 y para el porcentaje de error se optó por emplear un valor del 15%.

Ecuación 2. Tamaño del número de muestras finitas

$$n = \frac{(1.64)^2 * 0.5 * 0.5 * 70.000}{(0.15)^2(70.000 - 1) + (1.64)^2 * 0.5 * 0.5}$$

Fuente. [47]

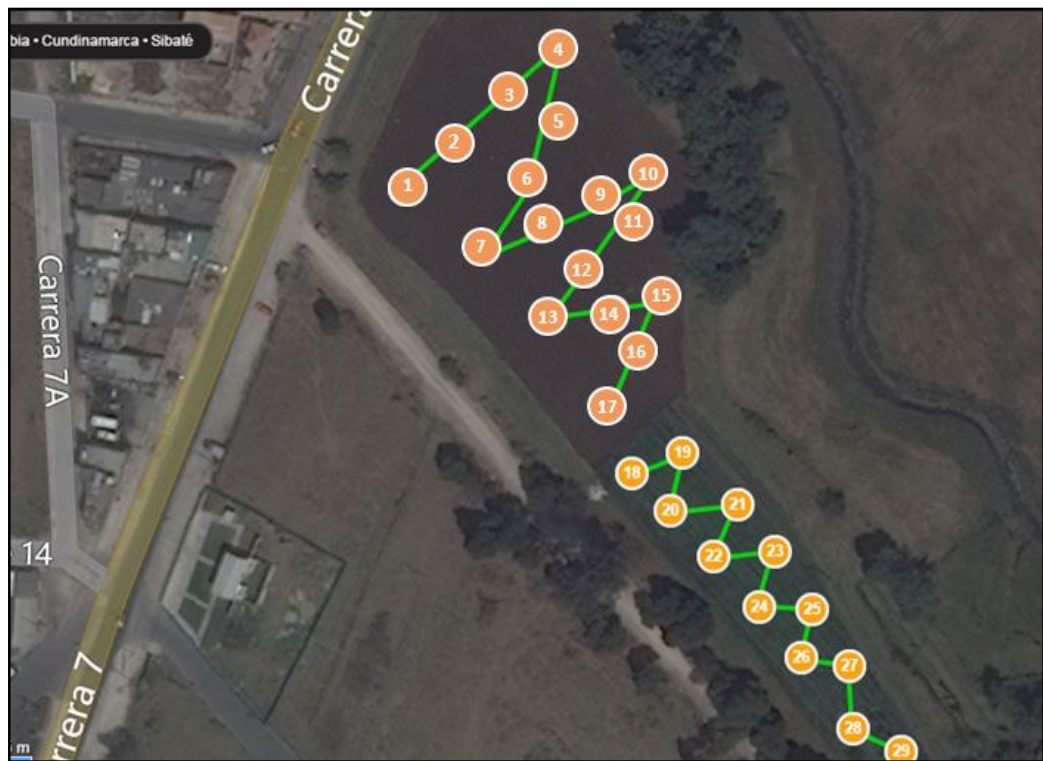
Por tanto el resultado final del número de muestras, según la fórmula de muestras finitas; fue de 29. Así se concluye que se debían efectuar 29 puntos para llevar acabo el muestreo de suelo y completar una muestra integrada en dicha matriz. Y 29 puntos para realizar la recolección de 250 gramos de fresa, los cuales

conformaran una muestra, es decir se necesitaran 7.25 kg de fresa para cumplir con el muestreo de estas. Por ultimo para llevar a cabo el muestreo de agua, se tomaron dos muestras de agua puntuales; una muestra directamente de la manguera que realiza la descarga desde la fuente abastecedora al estanque y otra del agua estancada, debido a que su sistema de riego era por aspersión.

3.3. Muestreo

El muestreo se realizó el día 11 de Abril del 2015, se recorrió el cultivo por el margen para evaluar la posición de cada punto de muestreo, después se trazó un dibujo de referencia como se muestra en la figura 9 y se procedió a realizar el muestreo de suelo, anotando las coordenadas de cada punto para luego proyectar la siguiente imagen. Para la ubicación de los puntos a muestrear se tomó una distancia de 30 cm respecto al borde del cultivo, para evitar el riesgo de que estén influenciadas por el efecto de borde y se alteren los datos.

Figura 9. Puntos de Muestreo cultivo de Fresa.



Fuente: Las Autoras, tomado de Google Earth

3.3.1. Muestreo de suelo

Para el muestreo de suelo se tuvo en cuenta que el cultivo estaba cubierto por un sistema de acolchado, lo cual dificultaba realizar el orificio de 30 centímetros de profundidad dentro de un radio de 30 centímetros después del tallo de la planta de fresa, como está dispuesto en la guía elaborada por Corpoica. Por lo anterior el muestreo fue llevado a cabo a las 11:30 a.m. tomando 4 cm aproximadamente de suelo lo más cerca posible a las raíces de la planta, previniendo algún daño en estas. Posteriormente el plástico que cubría cada uno de los surcos fue levantado con un palustre para la toma de la muestra, siguiendo la ruta de zig zag, trazada en toda el área del lote y expuesta anteriormente.

Cada pequeña submuestra de suelo se depositó en un recipiente hasta completar el volumen de la muestra con los 29 puntos señalados, después se mezcló totalmente para obtener la muestra integrada y se empaco en la bolsa hermética. Por último se realizó la cadena de custodia sugerida por el laboratorio.

Imagen 2. Muestreo de suelo.



Fuente: Las Autoras

3.3.2. Muestreo de Agua

Para realizar el muestreo de agua se tuvo en cuenta que el sistema de riego del cultivo es por aspersión y que el agua a utilizar es previamente almacenada en un estanque contiguo al cultivo. Por esto se procedió a tomar una muestra directamente de la manguera que realiza la descarga desde la fuente abastecedora al estanque y otra del agua estancada como lo muestra la imagen 3, para esta última fue necesario utilizar otro recipiente de 5 litros para recolectar el agua, pues el nivel estaba a 40 cm aproximadamente por debajo del borde, el recipiente se enjuago tres veces con el agua que se iba a muestrear y por último se trasvasó el agua necesaria al recipiente definitivo, realizando una filtración para evitar la presencia de desechos vegetales y el volumen sobrante fue regresado al estanque de almacenamiento. Este recipiente tenía capacidad para un litro, pero era preciso completar el 90% de dicho volumen para poder realizar la mezcla con los 10 ml de ácido nítrico dispuestos por el laboratorio para obtener un pH menor a dos y seguir el procedimiento adecuado para realizar el análisis de espectrofotometría de absorción atómica.

Imagen 3. Estanque de almacenamiento del agua para riego



Fuente. Las Autoras

3.3.3. Muestreo de fresas

El muestreo de fresa se realizó el día 14 de abril de 2015 a las 10:30 a.m., ya que ese día se recogió parte de la cosecha del cultivo.

Según el Consenso de la Sociedad Española de Nutrición Comunitaria por cada 100 gramos de porción de fresa comestible, 89.6 g es agua [13]. Debido a lo anterior y por procedimientos propios de la espectrofotometría de absorción atómica por llama directa, fue conveniente recolectar 250 g de fresa fresca por cada muestra; para así evitar una significativa pérdida de material útil por la evaporación de agua. En total se recogieron 7.25 kg de fresa para completar las 29 muestras necesarias.

Imagen 4. Muestras de fresa



Fuente. Las Autoras

3.4. Análisis de Laboratorio

El procedimiento para determinar la concentración de plomo en las muestras de fresa, agua y suelo por medio de espectrofotometría de absorción atómica con llama directa (imagen 5) fue realizado por un laboratorio privado acreditado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM). Dicho laboratorio sigue los pasos establecidos por la EPA para esta técnica.

Imagen 5. Espectrofotómetro de absorción atómica utilizado.



Fuente. Las Autoras

Para el análisis de la concentración de plomo en suelo, el laboratorio después de recibir la muestra realiza un secado a temperatura ambiente, para posteriormente tamizar; con el fin de separar las partículas y aumentar la superficie de contacto con los ácidos; facilitando que todos los metales presentes se puedan solubilizar. Ya que el suelo presenta carga orgánica baja, se procedió a la eliminación de esta siguiendo el método EPA 3050, el cual provee lineamientos para realizar la digestión ácida de muestras de sedimentos, lodos y suelo para el análisis por espectrometría de absorción atómica con llama. Por lo tanto se tomó de 1 a 2 g de muestra para realizar la digestión (imagen 7) en 10 ml de ácido clorhídrico, 10 ml de ácido nítrico y 10 ml de peróxido de hidrógeno a menos de 120°C. Después dicha mezcla se filtró, descartando las partículas de suelo y completando el volumen requerido a analizar por el equipo.

Imagen 6. Secado del suelo a temperatura ambiente.



Fuente. Las Autoras

Para la determinación de plomo en agua se sigue lo estipulado en el . Para iniciar se eliminó la materia orgánica por medio de la digestión de ácidos con una relación 3:1, 3 ml de nítrico y 1 ml de clorhídrico y seguidamente se calentaron a 50°C por un tiempo determinado para evitar pérdida de agua en el momento de la ebullición. Por último se realizó el filtrado en un matraz aforado, se dejó enfriar a temperatura ambiente y se llevó al volumen deseado con agua destilada y se homogenizo.

Imagen 7. Digestión de muestras de agua.



Fuente. Las Autoras

Debido al alto contenido de materia orgánica en las fresas se utilizó el método de calcinación (imagen8) para su eliminación y así evitar el uso de grandes cantidades de reactivos. Por lo anterior primero se realizó un desecamiento lento de las fresas, en un horno a 105°C por 3 días, con el fin de evitar una pérdida mayor de muestra. Posteriormente se tomó la fresa seca, se macero y se llevó a la mufla a 700°C por 2 horas y 30 minutos hasta obtener las cenizas. Por ultimo a estas cenizas se les agrego ácido clorhídrico, se realizó el filtrado correspondiente, se completó el volumen requerido y se llevó a lectura de absorción atómica.

Imagen 8. Mufla de calcinación.



Fuente. Las Autoras

3.5. Cinética ambiental

Para conocer los procesos de dispersión, transporte y transferencia del plomo en los alrededores del cultivo de fresa muestreado, se inició con la observación del sitio y revisión de alguna bibliografía; con el fin de utilizar el modelo dinámico para simplificar los procesos reales, teniendo como base un sistema abierto de compartimientos que interactúan unos con otros, para determinar la concentración del contaminante en cada uno de estos, teniendo en cuenta los flujos de entrada y salida como se muestra en la figura 4.

3.6. Análisis de riesgos

Por medio de este análisis se pretende conocer el riesgo al que está expuesta una persona que consume fresas con la mayor concentración de Pb detectada en el laboratorio, con el fin de simular el peor escenario posible. Para el cálculo se tuvo en cuenta diferencias de sexo en adultos y niños menores a 6 años, debido a que las características anatómicas, fisiológicas y de comportamiento contribuyen a tener diferencias potenciales que influyen en la vulnerabilidad a la exposición ambiental [48].

El peso y la proporción de grasa corporal del individuo son unas de las características fisiológicas que influyen en la dosis que ingresa al organismo. Teniendo en cuenta lo anterior el cálculo realizado se dividió en dos grupos de edad; adultos y niños menores a seis años, esto se realizó teniendo en cuenta que los niños presentan mayor absorción de Pb en relación con los adultos, la absorción promedio de ellos está entre 41.5% y 31.5% a diferencia de los adultos que es de un 10% [29].

3.6.1. Dosis de exposición o dosis potencial (mg/kg*día)

Se optó por aplicar esta ecuación ya que incluye el factor de exposición, el cual tiene en cuenta la duración, frecuencia y tiempo en el que una persona está expuesta a contaminación por ingesta de Pb.

Por medio de esta ecuación se busca conocer la concentración de Pb a la que una persona está expuesta en un día, teniendo en cuenta los factores de edad y el género y el consumo promedio de fresa de un colombiano en un año (0.9kg/año) [2]. Para esto se plantearon cuatro escenarios diferentes.

Ecuación 3. Dosis de exposición

$$Dosis = \frac{C * TI * FE}{PC}$$

Fuente: [49]

C = Concentración del contaminantes en el medio (mg/kg)

TI = Tasa de ingreso al organismo del medio contaminado (kg de alimento/ día)

FE = Factor de exposición

PC = Peso corporal (kg)

- **Calculo del factor de exposición**

$$FE = \frac{(Frecuencia de exposición) * (Duración de la exposición)}{(Tiempo de exposición)}$$

Fuente: [49]

3.6.2. Dosis absorbida

Con esta ecuación se calcula la cantidad total de Pb que ingresa al organismo, teniendo en cuenta el porcentaje de absorción de cada uno de los individuos analizados.

Ecuación 4. Dosis absorbida

$$Dosis\ absorbida = Dosis\ potencial * FA$$

Fuente: [49]

FA = Fracción de la dosis potencial que es absorbida

3.6.3. Tasa de consumo

Por medio de esta ecuación se determina la cantidad de fresas (kg) que una persona puede consumir en un día sin sufrir efectos dañinos, teniendo en cuenta la dosis de referencia (Rfd). Debido a que esta representa la dosis de metal que puede ser consumida diariamente sin que exista riesgo crónico en la salud [50].

Ecuación 5. Tasa de consumo

$$Tc = \frac{Rfd * W}{Cm}$$

Fuente. [50]

Donde:

Tc = es la tasa de consumo (g/día)

Rfd = Dosis de referencia (mg/kg /día)

W = Peso corporal (kg)

Cm = Concentración de Pb en fresa (mg/kg).

3.7. Toxicocinética

Para el análisis de la toxicocinética de los consumidores de fresa del cultivo seleccionado, con ayuda del cálculo de la dosis absorbida por cada grupo se pudo conocer la cantidad de plomo en sangre, huesos y tejidos blandos; así como su eliminación por orina, excretas y sudor.

Para conocer la cantidad de plomo en sangre, se tomó la dosis absorbida por cada grupo calculada anteriormente por la ecuación 4 y teniendo en cuenta los

porcentajes se determinó la cantidad de plomo que llega a cada compartimiento. En adultos el 10% de la dosis absorbida por ingestión llega hasta el torrente sanguíneo, sin embargo en niños el porcentaje de absorción es de 40%.

Ecuación 6. Cantidad de plomo en sangre

$$\text{Cantidad de plomo en sangre} = \text{Dosis absorbida} * \text{Porcentaje de absorción}$$

Fuente: [30]

Para determinar la cantidad de plomo en huesos se utilizó la cantidad de Pb hallada en sangre y se multiplico por el 90%, pues como se ha dicho anteriormente este el porcentaje de plomo que desde la sangre va al sistema óseo.

Ecuación 7. Cantidad de plomo en huesos

$$\text{Cantidad de plomo en huesos} = \text{Cantidad de plomo en sangre} * 90\%$$

Fuente: [31]

Por ultimo para conocer las concentraciones de Pb en tejidos blandos se realizaron dos cálculos; primero se conoció la concentración de plomo en tejidos blandos distribuida a partir de la sangre, posteriormente se calculó la cantidad de este toxico presente en este compartimiento proveniente del total absorbido por ingestión.

La concentración de plomo en tejidos blandos distribuida a partir de la sangre se calculó por medio de la ecuación 8, tomando la cantidad de plomo en sangre por el porcentaje que desde allí se distribuye a los tejidos blandos. Por otro lado la cantidad de plomo en dichos tejidos aportado por la dosis absorbida se reveló por medio de la ecuación 9, en la cual se expresa que el 90% de esta dosis transita a los tejidos blandos en adultos y el 60% en niños.

Ecuación 8. Cantidad de plomo tejidos blandos aportado por la sangre

$$\text{Cantidad de Pb tejidos blandos 1} = \text{Cantidad de plomo en sangre} * 10\%$$

Fuente: [51]

Ecuación 9. Cantidad de plomo tejidos blandos aportado por la dosis absorbida por adultos

$$\text{Cantidad de Pb tejidos blandos 2 adultos} = \text{Dosis absorbida} * 90\%$$

Fuente: [51]

Ecuación 10. Cantidad de plomo tejidos blandos aportado por la dosis absorbida en niños

$$\text{Cantidad de Pb tejidos blandos 2 niños} = \text{Dosis absorbida} * 60\%$$

Fuente: [51]

Después de obtener los resultados de las ecuaciones 8 y 9, se sumaron para conocer la concentración total de plomo en tejidos blandos.

Ecuación 11. Cantidad de plomo total en los tejidos blandos

$$\begin{aligned} \text{Cantidad de plomo tejidos blandos} \\ = \text{Cantidad de Pb tejidos blandos 1} \\ + \text{Cantidad de Pb tejidos blandos 2} \end{aligned}$$

Fuente: [51]

- **Eliminación**

Para el análisis de las concentraciones eliminadas se tuvo en cuenta las salidas por excretas, sudor y orina. Por medio de la ecuación 12 se expresa la cantidad de plomo eliminado por la orina, tomando la cantidad final de Pb en tejidos blandos por 75%.

Ecuación 12. Eliminación por orina

$$\text{Eliminación por orina} = \text{Cantidad de Pb tejidos blandos} * 75\%$$

Fuente: [51]

El 17% del plomo presente en tejidos blandos es eliminado por excretas. Y el 8% contenido en estos tejidos se elimina por sudor.

Ecuación 13. Eliminación por excretas

$$\text{Eliminación por excretas} = \text{Cantidad de Pb tejidos blandos} * 17\%$$

Fuente: [51]

Ecuación 14. Eliminación por sudor

$$\text{Eliminación por sudor} = \text{Cantidad de Pb tejidos blandos} * 8\%$$

Fuente: [51]

3.8. Resultados

3.8.1. Análisis de laboratorio

Resultados análisis de muestra de suelo

A continuación se presenta el reporte de la concentración de Pb de la muestra de suelo, la cual se preparó siguiendo lo establecido por el método EPA 3050, indicando como se realiza la digestión ácida de muestras de sedimentos, lodos y suelo para el análisis por espectrometría de absorción atómica con llama directa. Posteriormente se analizó la muestra según el Standard Methods 3111 B, el cual establece el procedimiento para la determinación de metales por espectrometría de absorción atómica de llama.

Tabla 8. Resultados suelo

Número de muestra	Método Analítico	Límite de cuantificación del laboratorio	Reporte
1	EPA 3050 – SM 3111 B	100 mg/Kg de suelo	< 100

Fuente. Las Autoras, tomado de informes del laboratorio

Resultados análisis de las muestras de agua

Para determinar la concentración de Pb en las muestras de agua se siguió el método SM 3030 E, por el cual se establece las pautas para realizar la digestión de metales por ácido nítrico, seguido por el SM 3111 B.

Tabla 9. Resultados agua

Número de muestra	Método Analítico	Límite de cuantificación del laboratorio	Reporte
1	SM 3030 E- SM 3111 B	0.5 mg/L	< 0.5 mg/L
2	SM 3030 E- SM 3111 B	0.5 mg/L	< 0.5 mg/L

Fuente. Las Autoras, tomado de informes del laboratorio

Resultados análisis de muestras de fresa:

En la siguiente tabla 7 se expone los resultados obtenidos por el análisis de cada muestra de fresa, realizado por medio de la técnica de espectrofotometría de absorción atómica con llama directa, en dicha tabla se nombra el método utilizado para la determinación de la concentración de plomo y el límite de detección utilizado por el laboratorio encargado del análisis:

Tabla 10. Resultados

Número de muestra	Método Analítico	Límite de cuantificación del laboratorio	Reporte
1	Calcinación - Digestión acida – SM 3111 B	100 mg/ kg de fresa	< 100
2	Calcinación - Digestión acida – SM 3111 B	100 mg/ kg de fresa	< 100
3	Calcinación - Digestión acida – SM 3111 B	100 mg/ kg de fresa	< 100
4	Calcinación - Digestión acida – SM 3111 B	100 mg/ kg de fresa	< 100
5	Calcinación - Digestión acida – SM 3111 B	100 mg/ kg de fresa	< 100
6	Calcinación - Digestión acida – SM 3111 B	100 mg/ kg de fresa	< 100
7	Calcinación - Digestión acida – SM 3111 B	100 mg/ kg de fresa	< 100
8	Calcinación - Digestión acida – SM 3111 B	100 mg/ kg de fresa	< 100
9	Calcinación - Digestión acida – SM 3111 B	100 mg/ kg de fresa	< 100
10	Calcinación - Digestión acida – SM 3111 B	100 mg/ kg de fresa	< 100
11	Calcinación - Digestión acida – SM 3111 B	100 mg/ kg de fresa	< 100
12	Calcinación - Digestión acida – SM 3111 B	100 mg/ kg de fresa	< 100
13	Calcinación - Digestión acida – SM 3111 B	100 mg/ kg de fresa	< 100
14	Calcinación - Digestión acida – SM 3111 B	100 mg/ kg de fresa	< 100
15	Calcinación - Digestión acida – SM 3111 B	100 mg/ kg de fresa	< 100
16	Calcinación - Digestión acida – SM 3111 B	100 mg/ kg de fresa	< 100
17	Calcinación - Digestión acida – SM 3111 B	100 mg/ kg de fresa	< 100
18	Calcinación - Digestión acida – SM 3111 B	100 mg/ kg de fresa	< 100
19	Calcinación - Digestión acida – SM 3111 B	100 mg/ kg de fresa	< 100
20	Calcinación - Digestión acida – SM 3111 B	100 mg/ kg de fresa	< 100
21	Calcinación - Digestión acida – SM 3111 B	100 mg/ kg de fresa	<100
22	Calcinación - Digestión acida – SM 3111 B	100 mg/ kg de fresa	< 100

Número de muestra	Método Analítico	Límite de cuantificación del laboratorio	Reporte
23	Calcinación - Digestión acida – SM 3111 B	100 mg/ kg de fresa	< 100
24	Calcinación - Digestión acida – SM 3111 B	100 mg/ kg de fresa	< 100
25	Calcinación - Digestión acida – SM 3111 B	100 mg/ kg de fresa	< 100
26	Calcinación - Digestión acida – SM 3111 B	100 mg/ kg de fresa	< 100
27	Calcinación - Digestión acida – SM 3111 B	100 mg/ kg de fresa	< 100
28	Calcinación - Digestión acida – SM 3111 B	100 mg/ kg de fresa	< 100
29	Calcinación - Digestión acida – SM 3111 B	100 mg/ kg de fresa	< 100

Fuente. Las Autoras, tomado de informes del laboratorio

3.8.2. Cinética Ambiental

Por medio de la revisión bibliográfica se conoció el Plan de seguimiento y monitoreo ambiental al embalse del Muña ejecutado por Emgesa en el cual se evidencia la presencia de plomo en el agua en un rango de 0.16 - 0.21 mg/l entre los meses de octubre de 2005 y abril de 2006 [52]. Igualmente se ha comprobado la presencia de compuestos insolubles de plomo, por medio de mediciones realizadas en los sedimentos del embalse, encontrando una máxima concentración de 290 mg/kg en Enero de 2007 [52]. Y también en aire para el año 2004 la Universidad Nacional determino la concentración de plomo de la zona cercana al embalse registrando 709.3 ng/m³.

Por lo anterior se concluyó que la principal fuente que aporta plomo en la zona es el embalse del Muña, debido a su contaminación por el uso de aguas del rio Bogotá; las cuales fueron deterioradas por los constantes vertimientos industriales.

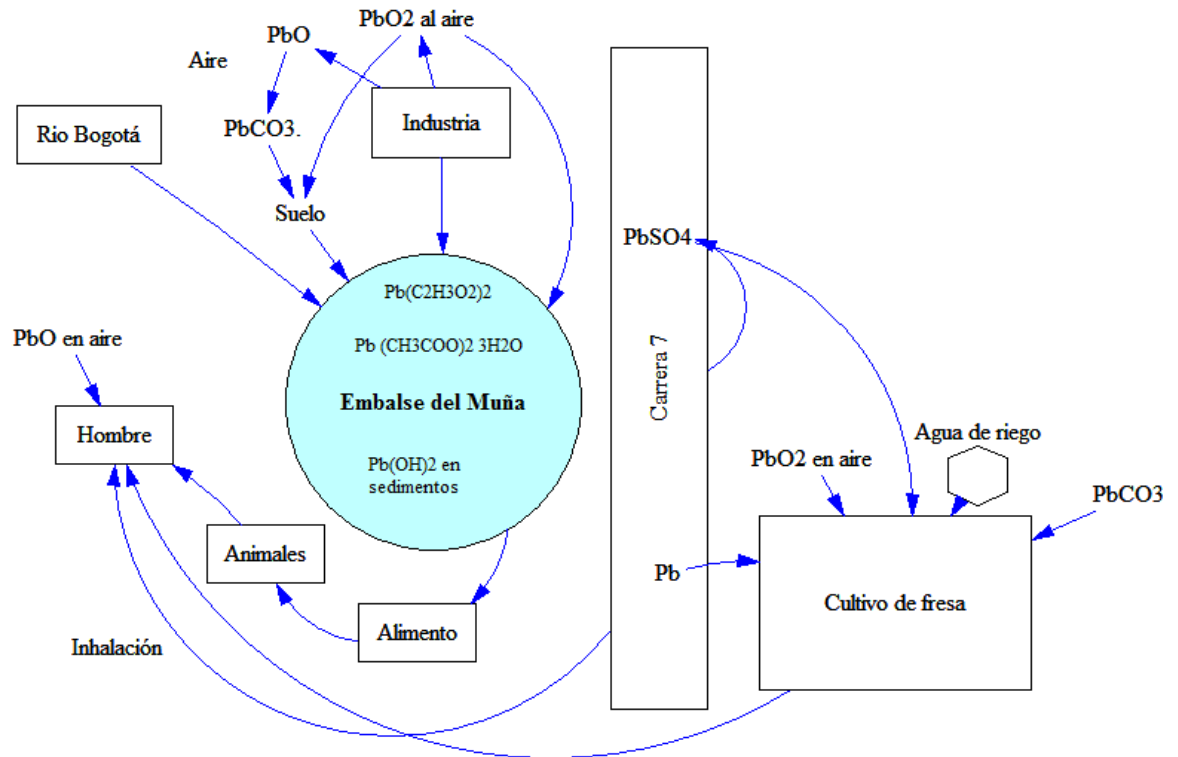
En la figura 8 se evidencia la ubicación del cultivo muestreado dentro de la zona de amenaza por inundación baja y muy cerca de la zona de amenaza por inundación alta a causa del desbordamiento de las aguas del embalse, teniendo en cuenta lo anterior la presencia de plomo en el suelo del cultivo; puede ser el resultado del depósito del metal contenido en el agua durante la estancia en esta área. El tipo de suelo del cultivo es franco arcilloso y por tanto presenta un pH moderadamente ácido con valores entre 5.6 y 6, en este tipo de suelo el plomo se solubiliza fácilmente y puede entonces lixiviarse contaminando acuíferos o ser captado por

las plantas; al estar el metal toxico en estado soluble indica que en el cultivo hay presencia de acetatos y nitratos de plomo. Sin embargo estos compuestos solubles se dispersan más rápido que los insolubles y teniendo en cuenta que la muestra de suelo registró concentración, es posible que también hallan carbonatos, fosfatos y sulfatos de plomo; los cuales son de mayor persistencia.

Otras fuentes que aportan plomo al ambiente son las emisiones de industrias cercanas. Igual que las emisiones de los vehículos que constantemente transitan por la carrera 7, principal vía de acceso al municipio y ubicada a menos de 5 metros del cultivo estudiado. El plomo presente en la atmosfera precipita con apoyo de la lluvia y se distribuye por acción de los vientos. Además constituye una de las rutas de exposición de plomo más comunes y cotidianas en la vida del hombre, ya que este ingresa al organismo por inhalación.

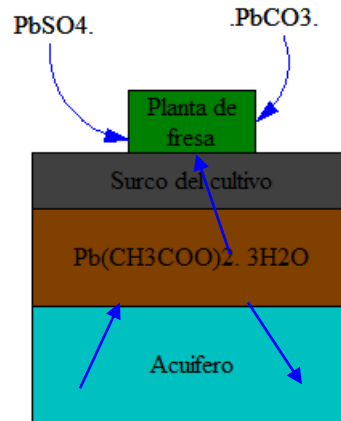
Por tanto la ruta de exposición del plomo inicia con el agua contaminada del cuerpo de agua, el aire de la zona y el suelo aledaño, estos como medios responsables de transportar el metal desde la fuente hasta los puntos de exposición. Para este caso los puntos de exposición son el embalse y los alimentos procedentes de cultivos agrícolas cercanos a este, dentro de estos puntos el plomo ingresa al organismo por dos vías de exposición; por inhalación y por ingestión. Con el proceso de inhalación, el cual es indispensable para un ser vivo, se ingiere el plomo presente en el aire. Por otro lado a causa del movimiento del metal y por el depósito de plomo en suelo, las plantas de fresa absorben el toxico por sus raíces y lo conducen hasta el fruto o directamente el plomo de la atmosfera cae en la fresa y es absorbido, debido a que esta fruta no tiene una membrana exterior que la proteja de la intemperie y es de consumo directo. Por último la fresa entra en la cadena alimenticia y es consumida por el hombre, ingiriendo también concentraciones de plomo que con el tiempo se irán bioacumulando en el organismo acarreando la formación de diferentes efectos nocivos para la salud.

Imagen 9. Cinética del Pb en Sibaté



Fuente: Las autoras.

Imagen 10. Compuestos de plomo disponibles para la planta



Fuente: Las autoras

Como se observa en la imagen 9, en la zona aledaña al embalse se presentan emisiones de óxido de plomo II, provenientes de industrias cercanas; este compuesto puede depositarse por acción de la gravedad en el suelo, donde debido a su baja solubilidad se vuelve poco movable. Sin embargo, cuando este metal hace contacto con aire húmedo o agua; su reactividad aumenta, formando hidróxido de plomo. $2Pb + O_2 + 2H_2O \rightarrow 2Pb(OH)_2$. En la misma imagen, se observan emisiones de Pb elemental y sulfato de plomo derivado de los vapores de vehículos, debido a la posible presencia de tetraetilo de plomo en la gasolina $(CH_3CH_2)_4Pb + 13O_2 \rightarrow 8CO_2 + 10H_2O + Pb$ y los cuales por su cercanía al cultivo se pueden depositar sobre el suelo o directamente en las fresas.

En el cultivo muestreado es posible no encontrar arseniato de plomo, debido a que no es un compuesto del plaguicida utilizado allí. Por otro lado, aunque el plomo elemental es insoluble en agua, su presencia en la atmosfera es fundamental para formar partículas de Carbonato de Plomo II ($PbCO_3$), este compuesto en aire forma polvos que posteriormente se depositan en plantas y en el agua [29].

En el agua del embalse es posible encontrar Acetato de Plomo $Pb(C_2H_3O_2)_2$, el cual se utiliza principalmente en la manufactura de barnices, pigmentos de cromo, tintes para el cabello, pinturas antioxidantes y como reactivo analítico. Se fabrica por medio de la disolución del monóxido de plomo o del carbonato de plomo en ácido acético concentrado [29]. Cuando este compuesto entra en contacto con el agua, forman el Plomo (II) Acetato 3-hidrato ($Pb(CH_3COO)_2 \cdot 3H_2O$); el cual es altamente toxico para la vida acuática y para la salud en caso de exposición prolongada por ingestión. Revisando lo consignado en la tabla 4 se establece que los sedimentos del cuerpo de agua conservarán altas concentraciones de plomo, debido a que gran cantidad de los compuestos de plomo insolubles se depositan allí.

3.9. Discusión y análisis de resultados

3.9.1. Verificación de la calibración

Debido a que los resultados reportados por el laboratorio encargado del análisis de las muestras de suelo, agua y fresa por espectrofotometría de absorción atómica con llama, se encontraron por debajo del límite de detección empleado, se solicitó a este la curva de calibración, el blanco de método, el blanco de laboratorio fortificado, la matriz de laboratorio fortificada y el duplicado de matriz fortificada; con el fin de conocer la lectura del equipo y así mismo la existencia de trazas de Pb en las diferentes muestras por debajo de la sensibilidad del método, aunque los datos no representan suficiente confiabilidad, debido a que pueden ser secuela del ruido

de las muestras usadas para la calibración o alguna interferencia; se decidió realizar un breve análisis de estos, para cumplir con los objetivos del presente proyecto.

A continuación se exponen los datos obtenidos tras la lectura del blanco y cinco muestras con concentración de Pb conocida, empleadas para realizar la calibración del equipo. La calibración consiste en agregar una concentración determinada de Pb en la primera muestra e ir aumentando continuamente, para que al graficar concentración vs absorbancia se plasme una relación directa.

Tabla 11. Calibración del laboratorio

CURVA DE CALIBRACIÓN

CURVA DE CALIBRACIÓN 2015-04-28 PLOMO Pb ANALISIS DE PLOMO EN FF

Calibration data for Pb 283.3			Equation: Linear, Calculated Intercept		
ID	Mean Signal (Abs)	Entered Conc. mg/L	Calculated Conc. mg/L	Standard Deviation	%RSD
BLANCO	0.0000	0	-0.058	0.00	24.5
Calib Std 1	0.0102	1.0	1.002	0.00	0.8
Calib Std 2	0.0207	2.0	2.085	0.00	0.7
Calib Std 3	0.0386	4.0	3.938	0.00	0.2
Calib Std 4	0.0690	7.0	7.083	0.00	0.2
Calib Std 5	0.0967	10.0	9.950	0.00	0.3
Correlation Coef.: 0.999839		Slope: 0.00966		Intercept: 0.00056	

Fuente: Chemilab

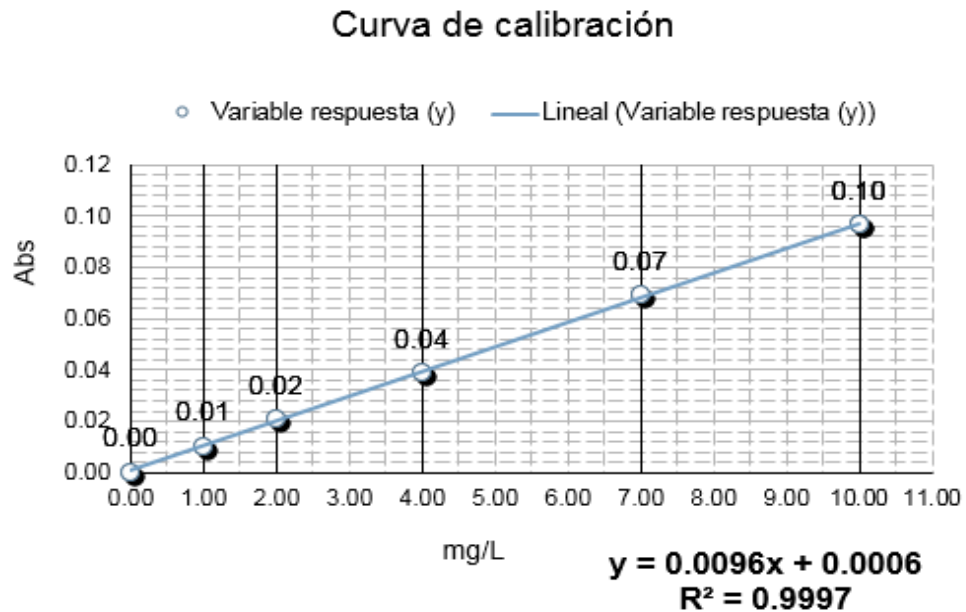
Posteriormente se corroboró si la curva de calibración suministrada por el laboratorio corresponde a los datos de las muestras analizadas y al mismo tiempo se verificó el límite de detección de la técnica utilizada por el laboratorio. Para llevar a cabo lo anterior, se emplearon los datos de los valores de concentración vs absorbancia detectada en los cinco ensayos realizados.

Tabla 12. Regresión lineal y variable

Variable control (x)	Variable respuesta (y)	Regresión lineal	
0.00	0.00	Límite de detección	(y)
1.00	0.01		0.0872
2.00	0.02	Ecuación	$Y = mx+b$
4.00	0.04	m	0.00965
7.00	0.07	b	0.00057
10.00	0.10	Coeficiente de determinación	0.99973
		Error estándar de la regresión	0.00028
		F	0.00065
		Grados de libertad	11.00000
		Suma Regresión Cuadrados	0.01688
		Suma Reg Residuos Cuadrados	40028.54420
		y1	0.00050

Fuente. Las autoras

Grafico 2. Curva de calibración verificada



Fuente. Las Autoras

El límite de detección se halló multiplicando tres veces el error estándar de la desviación dividida en la pendiente.

Ecuación 15. Límite de detección

$$LOD = \frac{3 * (S)}{m}$$

Fuente. [24]

Tomando (y) igual la límite de detección, por medio de la ecuación de la recta $y = mx + b$, se despeja x para conocer el límite de detección en mg/l.

$$0.0872 = 0,00965 x + 0,0006$$

$$x = \frac{0.0872 - 0,0006}{0,00965}$$

$$x = 8,97 \text{ mg/l}$$

Según el valor calculado el límite de detección es 411 mg/kg, esto revela que la sensibilidad del equipo no es muy grande, así como se evidencia en la grafico 2, el grado de inclinación de la recta es pequeño; por lo cual se concluye que a grandes cambios en concentración (x) hay pequeñas variaciones en absorbancia.

3.9.2. Concentraciones por debajo del límite

Los datos suministrados por el laboratorio inician con el peso de cada muestra en gramos, el volumen final de la muestra (ml) y la concentración de Pb en la muestra en (mg/l). Realizando la conversión respectiva con estos datos, se logró conocer la concentración de Pb en mg/kg de fresa, demostrando que efectivamente las concentraciones se encuentran muy por debajo del límite empleado por el laboratorio, impidiendo así generar un reporte formal. Estos datos serán analizados, teniendo presente su bajo nivel de confiabilidad, con el fin de que este método de análisis pueda ser aplicado en investigaciones futuras desarrolladas con una técnica de detección de metales de mayor sensibilidad.

Tabla 13. Concentraciones finales en fresa

FRESA				
Numero de Muestras	Peso de muestra (g)	Volumen aforado (ml)	Concentración en muestra (mg/l)	Concentración (mg/kg)
1	2	25	0.053	0.6625
2	2.13	25	0.069	0.809859155
3	2.05	25	0.043	0.524390244
4	2.13	25	0.042	0.492957746
5	2.33	25	0.093	0.997854077
6	2.03	25	0	0
7	2.16	25	0.007	0.081018519
8	2.14	25	0	0
9	2.22	25	0.044	0.495495495
10	2.59	25	0.021	0.202702703
11	2.22	25	0.011	0.123873874
12	2.32	25	0.023	0.247844828
13	2.05	25	0	0
14	2.22	25	0	0
15	2.15	25	0.003	0.034883721
16	2.11	25	0	0
17	2.04	25	0	0
18	2.32	25	0	0
19	2.02	25	0	0
20	2.2	25	0	0
21	2.35	25	0.11	1.170212766
22	2.17	25	0.072	0.829493088
23	2.05	25	0.026	0.317073171
24	2.05	25	0.045	0.548780488
25	2.35	25	0.097	1.031914894
26	2.17	25	0.058	0.668202765

Numero de Muestras	Peso de muestra (g)	Volumen aforado (ml)	Concentración en muestra (mg/l)	Concentración (mg/kg)
27	2.15	25	0.036	0.418604651
28	2.06	25	0	0
29	2.67	25	0.026	0.243445693

Fuente: Las autoras

Se realizó el mismo procedimiento para conocer la concentración de Pb presente en la muestra de suelo. Estableciendo que el suelo presentó una concentración de 0.049 mg de Pb/kg de suelo.

Tabla 14. Concentración final en suelo

SUELO				
Numero de Muestras	Peso de muestra (g)	Volumen aforado (ml)	Concentración en muestra (mg/l)	Concentración (mg/kg)
1	2.54	25	0.005	0.0492126

Fuente: Las autoras

Por otro lado no se pudo determinar la concentración de Pb en las muestras de agua, debido al alto límite de detección, el cual no registra unidades de absorbancia si esta es demasiado baja.

Tabla 15. Concentraciones finales en agua

AGUA		
Numero de Muestras	Volumen aforado (ml)	Concentración en muestra (mg/l)
1	50	0
2	50	0

Fuente: Las autoras

3.9.3. Análisis estadístico

Tabla 16. Estadísticos descriptivos

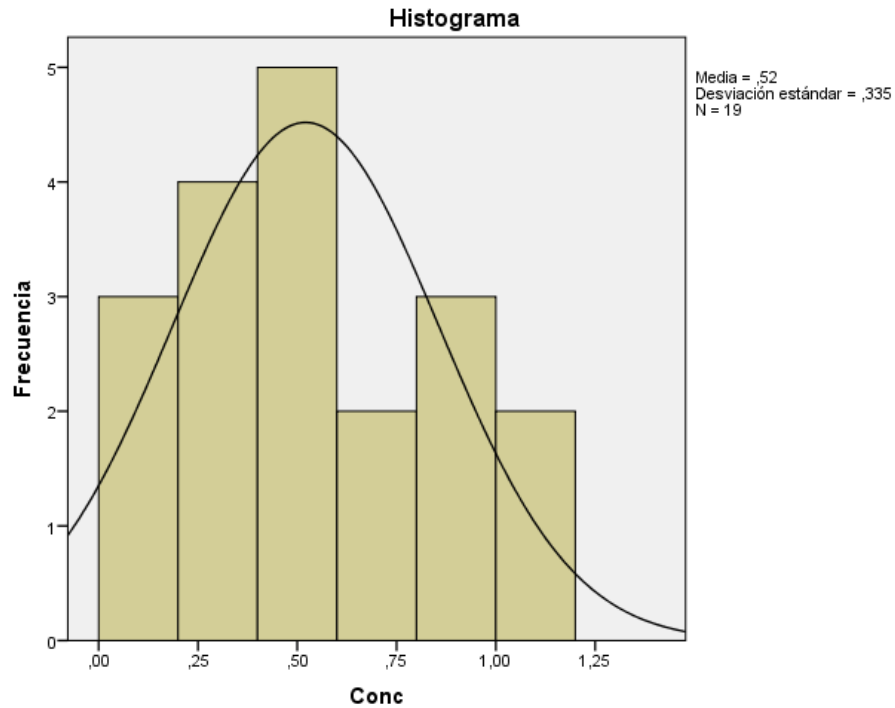
		Conc	N válido (por lista)
N	Estadístico	19	19
Rango	Estadístico	1,14	
Mínimo	Estadístico	,03	
Máximo	Estadístico	1,17	
Media	Estadístico	,5212	
	Error estándar	,07694	
Desviación estándar	Estadístico	,33538	
Varianza	Estadístico	,112	
Asimetría	Estadístico	,375	
	Error estándar	,524	
Curtosis	Estadístico	-,776	
	Error estándar	1,014	

Fuente: Las autoras

Por medio del programa SPSS se ingresaron las concentraciones obtenidas en el análisis de espectrofotometría de absorción atómica por llama directa, posteriormente fueron analizados a través de la herramienta de estadísticos descriptivos los resultados obtenidos fueron el mínimo, máximo, el valor de asimetría y curtosis; para evitar sesgar la información determinada se omitieron los valores con concentración de cero.

A partir de los resultados de concentración de Pb se observa que estos fluctúan entre 0,03 y 1,17 mg/kg, la media es de 0,5212 este valor no se utilizará para realizar el análisis de riesgo, debido a que la distribución de los datos es amplia y al analizarlos le resta importancia a las concentraciones máximas.

Grafico 3. Curtosis



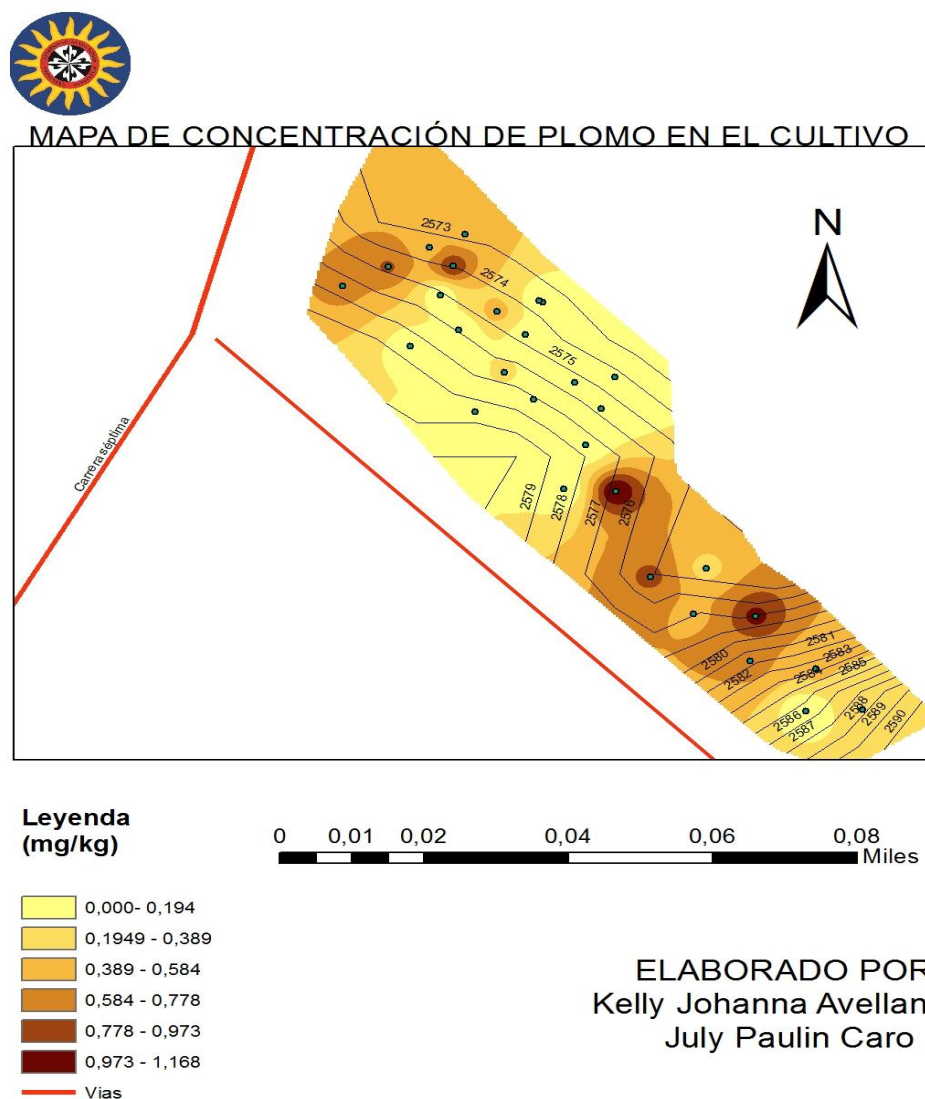
Fuente: Las autoras

La curtosis es de -0,776 mostrando una distribución platicúrtica, es decir una reducida concentración alrededor de los valores centrales de la distribución. Existe una asimetría positiva de 0,375 indicando una cola hacia la derecha, lo cual significa que los valores se concentran antes de la media, con esto se puede decir que se registró más cantidad de muestras con concentraciones menores a la media.

3.9.4. Análisis Geoestadístico

En el siguiente mapa se ubican los puntos de muestreo en el cultivo de fresa y se realiza una interpolación de las concentraciones de Pb en fresa determinadas por el equipo.

Figura 10. Mapa concentración de Pb en el cultivo



Fuente: Las autoras

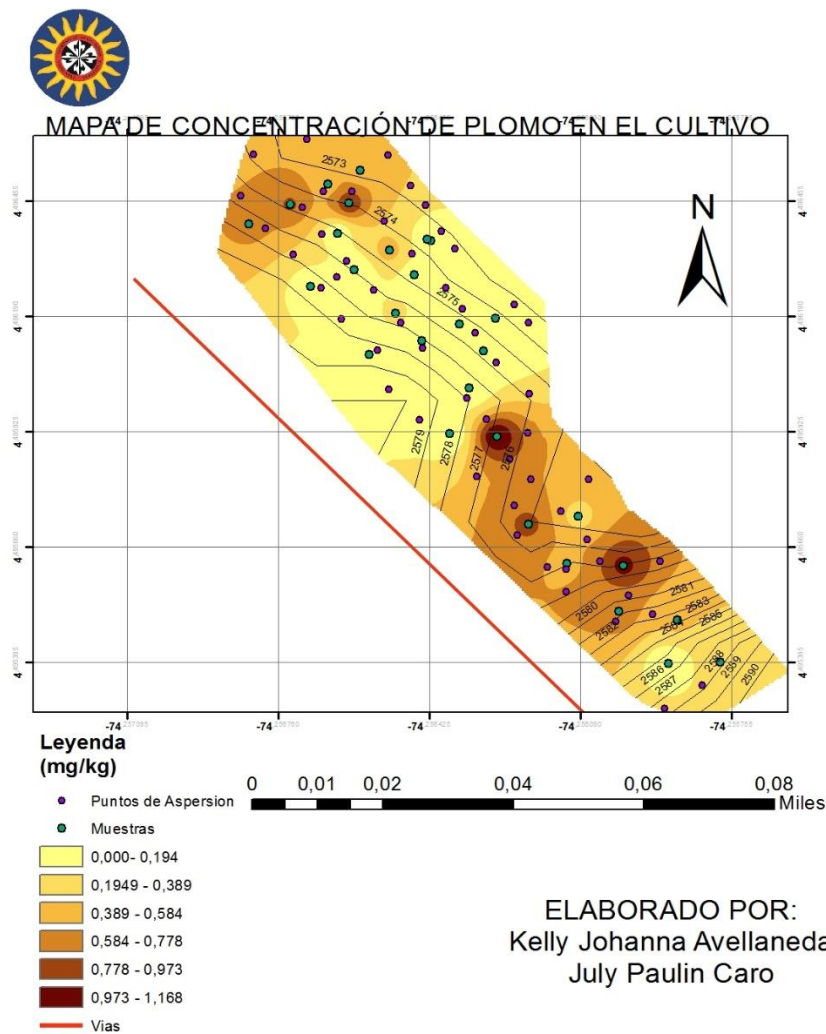
Este mapa fue realizado por medio de ArGis 10.1 con el fin de conocer la distribución de las concentraciones de Pb en las fresas muestreadas del cultivo, se tuvo en cuenta las curvas de nivel para determinar la pendiente del terreno y verificar la influencia de la escorrentía en la distribución de las concentraciones.

Con la curvas de nivel se pudo conocer que la menor altura es de 2573 m.s.n.m, ubicada al Norte del cultivo y la máxima altura es 2590 m.s.n.m. al Sur de la siembra; por medio del programa se calculó la pendiente media obteniendo una inclinación de 2.8%, indicando que el terreno es ligeramente inclinado. Por medio de una interpolación se expone las concentraciones detectadas de Pb en fresa teniendo en

cuenta su ubicación en el cultivo, obteniendo así que las concentraciones más altas se localizan en la zona Sur del terreno, entre las cotas 2577-2582 m.s.n.m. Sin embargo en la zona Norte, cerca de la carrera 7; también se detectaron altas concentraciones de Pb en 3 muestras, siendo estas mayores de 0.584 mg/kg. Las concentraciones más bajas se agrupan en el centro del cultivo y va aumentando hacia los extremos del mismo.

Con lo anterior se puede decir que la dirección de la escorrentía no está interfiriendo con la distribución de Pb en el cultivo y por ende en la concentración de este metal en fresa por absorción radicular. Pues se evidencian concentraciones altas tanto al Norte, como al Sur del cultivo.

Figura 11. Mapa de concentraciones de Pb en el cultivo y puntos de riego



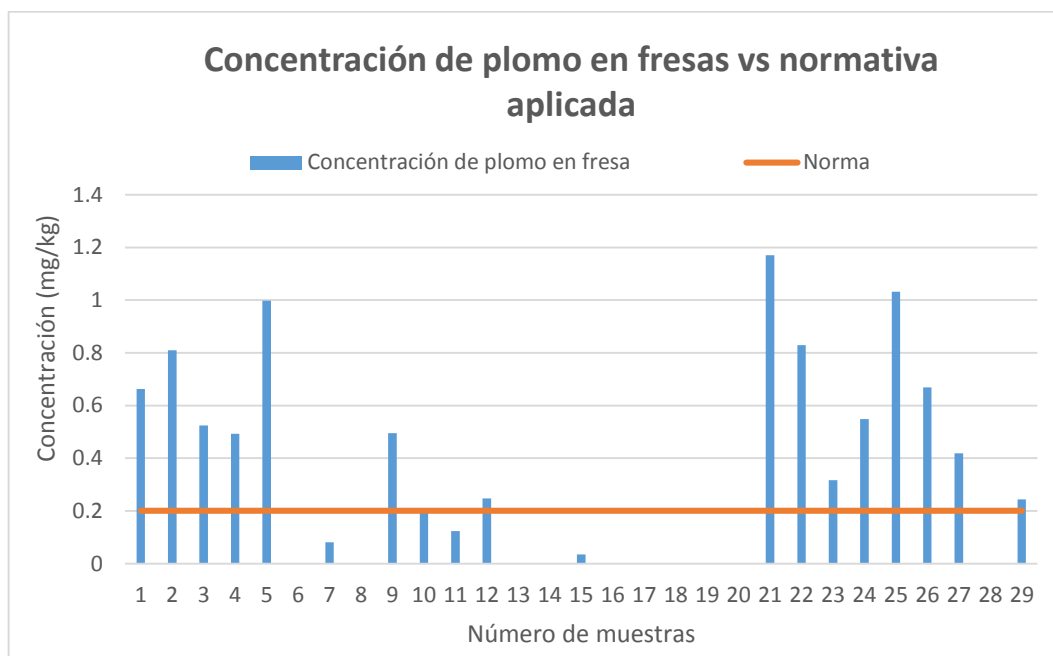
Fuente: Las autoras

En el figura 11 se expone la distribución de los 57 puntos de aspersión dentro del cultivo, lo anterior se realizó con el fin de conocer si las concentraciones de Pb encontradas en las fresas guardan relación con la acción del agua de riego (escurrimiento o estancamiento). Según el mapa, las concentraciones no se ven influenciadas por el comportamiento del agua de riego, pues tanto en las zonas de altas y bajas concentraciones están ubicados varios puntos de riego. Por lo anterior se observa que aunque la parte más baja del terreno esta hacia el Noroccidente y el agua de riego escurre y se deposita en esta dirección; allí no se encontraron las concentraciones más altas, es decir que el agua de riego no arrastra consigo el Pb contenido en suelo.

3.9.5. Comparación con la normativa

Teniendo en cuenta el nivel máximo permisible de Pb en bayas y frutas pequeñas (0,20 mg/Kg), establecido por la resolución 4506 de 2013, expedida por el ministerio de salud y protección social; se realiza una comparación entre las concentraciones detectadas y dicho nivel.

Grafico 4. Comparación de la concentración en fresa con normativa



Fuente. Las Autoras

En el grafico 3 se evidencia la concentración de Pb detectada por el equipo en 19 muestras, las demás muestras fueron registradas con valores de cero. Se observa que solo el 21% de las concentraciones se encuentran por debajo del límite

permitido y el 78,9% restante sobrepasan la normativa con diferentes concentraciones. La concentración más alta se encuentra cinco veces por encima del nivel permitido, concretamente contiene 0.97 mg/kg más que el límite establecido en la resolución. Al mismo tiempo se aprecia que la muestra 15 posee la concentración más baja detectada por el método de espectrofotometría de absorción atómica, dicha concentración se ubica 83% por debajo del límite normativo y al estar por debajo de la normativa representa que es una concentración admitida para la ingesta de alimentos por sus bajos efectos en la salud, a diferencia de las muestras que se encuentran por encima de este límite. Sin embargo para determinar si en verdad existe alguna consecuencia en el organismo, es necesario determinar la cantidad de fresa que se consume, ya que si se consume una cantidad alta pero el consumo no es constante no generara inconvenientes.

En la comparación de la concentración de plomo detectada en suelo y el valor de referencia recomendado por la OMS (25mg/kg), se evidencia que dicha concentración representa menos del 1% del valor del límite dado por dicha entidad y por ende no lo excede.

3.9.6. Análisis de riesgo

Teniendo en cuenta la metodología expresada en el punto 3.6 se procedió al cálculo de la dosis de exposición, dosis absorbida, tasa de consumo y los efectos en la salud según la concentración de plomo en sangre.

3.9.6.1. Dosis de exposición o dosis potencial (mg/kg*día)

- **Calculo del factor de exposición**

$$FE = \frac{\left(\frac{7 \text{ dias}}{\text{semana}}\right) * \left(52 \frac{\text{semanas}}{\text{año}}\right) * (70 \text{ años})}{(70 \text{ años}) * \left(365 \frac{\text{dias}}{\text{año}}\right)}$$

$$FE = 0.99$$

Calculo de la dosis de exposición en adultos

Hombre

Los datos empleados para conocer la dosis de exposición en un hombre adulto fue la más alta concentración detectada de plomo en fresa (1.17 mg/kg), la cantidad de fresas que consume al día (0.002465 kg/día), el factor de exposición y el peso corporal.

$$Dosis = \frac{1.17 \left(\frac{mg}{kg} \right) * 0.002465 \left(\frac{kg}{día} \right) * 0.99}{78 \text{ kg}} = 0.0000362 \left(\frac{mg}{kg * día} \right)$$

Mujer

En el caso de la mujer, se emplearon los mismos valores; variando el peso corporal.

$$Dosis = \frac{1.17 \left(\frac{mg}{kg} \right) * 0.002465 \left(\frac{kg}{día} \right) * 0.99}{65 \text{ kg}} = 0.0000439 \left(\frac{mg}{kg * día} \right)$$

- Cálculo del factor de exposición menores de seis años

Para el cálculo de este factor en niños de menores de 6 años, se tuvo en cuenta que por su etapa de desarrollo; el niño presentará un aumento considerable de peso en los 5 años posteriores, sin embargo el FE fue similar.

$$FE = \frac{\left(\frac{7 \text{ días}}{\text{semana}} \right) * \left(52 \frac{\text{semanas}}{\text{año}} \right) * (5 \text{ años})}{(5 \text{ años}) * \left(365 \frac{\text{días}}{\text{año}} \right)}$$
$$FE = 0.99$$

Niño

En niño menor de seis años se varió en su peso corporal, usando 15 kg.

$$Dosis = \frac{1.17 \left(\frac{mg}{kg} \right) * 0.002465 \left(\frac{kg}{día} \right) * 0.99}{15 \text{ kg}} = 0.000190 \left(\frac{mg}{kg * día} \right)$$

Niña

Para conocer la dosis de exposición en la niña se manejó un peso de 14 kg.

$$Dosis = \frac{1.17 \left(\frac{mg}{kg} \right) * 0.002465 \left(\frac{kg}{día} \right) * 0.99}{14 \text{ kg}} = 0.000204 \left(\frac{mg}{kg * día} \right)$$

Según los resultados se evidencia que aunque la concentración de Pb en fresa y la cantidad consumida al día sea la misma, las niñas menores de 6 años están

expuestas a una mayor dosis al día, debido a su bajo peso en comparación al del niño, ya que el peso es un factor que influye directamente en la dosis absorbida. Así mismo se muestra que el hombre adulto es el individuo que está expuesto a una menor concentración de Pb en un día.

3.9.6.2. Dosis absorbida

Teniendo en cuenta el porcentaje de absorción de cada uno de los individuos analizados, se llegó a conocer la dosis absorbida por cada uno.

$$Dosis\ absorbida = Dosis\ potencial * FA$$

Fuente: [49]

FA = Fracción de la dosis potencial que es absorbida

Hombre

$$Dosis\ absorbida = 0.0000366 * 0.10 = 0.00000366 \left(\frac{mg}{kg * dia} \right)$$

Mujer

$$Dosis\ absorbida = 0.0000439 * 0.10 = 0.00000439 \left(\frac{mg}{kg * dia} \right)$$

Niños

$$Dosis\ absorbida = 0.000190 * 0.40 = 0.0000761 \left(\frac{mg}{kg * dia} \right)$$

Niñas

$$Dosis\ absorbida = 0.000204 * 0.40 = 0.0000816 \left(\frac{mg}{kg * dia} \right)$$

Teniendo en cuenta la dosis potencial calculada anteriormente y el porcentaje de absorción de cada uno de los individuos, se evidencia que la niña menor a seis años continua siendo el individuo que más se ve afectado por las concentraciones de Pb que ingresa al organismo. Al ver la relación entre niño y niña se encontró que la niña absorbe 6.74% más que el niño y la mujer adulta absorbe 16.62% más que el hombre.

3.9.6.3. Tasa de consumo

Por medio de la tasa de consumo se conoció la cantidad de fresas (g) que una persona puede consumir en un día sin sufrir efectos dañinos.

Hombres

Teniendo en cuenta la dosis de referencia, el peso promedio de un hombre adulto y la concentración de plomo en fresa un hombre puede consumir 233 gramos de fresa al día sin presentar efectos nocivos para la salud, teniendo en cuenta una tasa de referencia para prevenir efectos crónicos.

$$Tc = \frac{0.0035 \frac{mg}{kg * día} * 78kg}{1.17 mg/kg} * 1000 g$$
$$Tc = 233 g/día$$

Mujer

$$Tc = \frac{0.0035 \frac{mg}{kg * día} * 65kg}{1.17 mg/kg} * 1000 g$$
$$Tc = 194 g/día$$

Niño

$$Tc = \frac{0.0035 \frac{mg}{kg * día} * 15kg}{1.17 mg/kg} * 1000 g$$
$$Tc = 44 g/día$$

Niña

$$Tc = \frac{0.0035 \frac{mg}{kg * día} * 14kg}{1.17 mg/kg} * 1000 g$$
$$Tc = 41 g/día$$

Según los resultados una niña menor de seis años puede consumir 41 gramos de fresa al día con dicha concentración, sin sufrir efectos en la salud. Es el individuo que menor cantidad de fresa puede consumir, debido a que está expuesta a mayor dosis. Por el contrario el hombre adulto es el individuo que puede consumir mayor cantidad de fresas al día (233 g/día), pues la cantidad de Pb absorbida por su organismo es menor.

3.9.7. Toxicocinética

Teniendo en cuenta las ecuaciones plasmadas en el numeral 3.7 se conoció la toxicocinética del plomo en cuatro diferentes grupos de individuos, partiendo que estos consumen fresas con la máxima cantidad de plomo detectada en el laboratorio.

- **Plomo en sangre**

Hombre

$$0,00000366 * 10\% = 0,000000366 \left(\frac{mg}{kg * dia} \right)$$

Mujer

$$0,00000439 * 10\% = 0,000000439 \left(\frac{mg}{kg * dia} \right)$$

Niño

$$0,0000761 * 40\% = 0,00003044 \left(\frac{mg}{kg * dia} \right)$$

Niña

$$0,0000816 * 40\% = 0,00003264 \left(\frac{mg}{kg * dia} \right)$$

La niña es el individuo que más plomo presenta en sangre y el hombre adulto es quien menor concentración tiene, debido a que los niños menores de seis años presentan características anatómicas, fisiológicas y de comportamiento que contribuyen en la vulnerabilidad a la exposición ambiental.

- **Plomo en huesos**

Por medio de una exhaustiva revisión bibliográfica se determinó que el 90% de la cantidad de plomo que se encuentra en la sangre se deposita en los huesos, siendo este el órgano blanco, ya que permanece de 30 a 40 años en este compartimiento [32].

Hombre

$$0,000000366 * 90\% = 0,0000003294 \left(\frac{mg}{kg * dia} \right)$$

Mujer

$$0,000000439 * 90\% = 0,0000003951 \left(\frac{mg}{kg * dia} \right)$$

Niño

$$0,000027396 * 90\% = 0,000027396 \left(\frac{mg}{kg * dia} \right)$$

Niña

$$0,000029376 * 90\% = 0,000029376 \left(\frac{mg}{kg * dia} \right)$$

• Plomo proveniente de la sangre en tejidos blandos 1

Hombre

$$0,000000366 * 10\% = 0,0000000366 \left(\frac{mg}{kg * dia} \right)$$

Mujer

$$0,00000439 * 10\% = 0,0000000439 \left(\frac{mg}{kg * dia} \right)$$

Niño

$$0,00003044 * 10\% = 0,000003044 \left(\frac{mg}{kg * dia} \right)$$

Niña

$$0,00003264 * 10\% = 0,000003274 \left(\frac{mg}{kg * dia} \right)$$

- **Plomo proveniente de la dosis absorbida en tejidos blandos 2**

Hombre

$$0,00000366 * 90\% = 0,000003294 \left(\frac{mg}{kg * dia} \right)$$

Mujer

$$0,00000439 * 90\% = 0,000003951 \left(\frac{mg}{kg * dia} \right)$$

Niño

$$0,0000761 * 60\% = 0,00004566 \left(\frac{mg}{kg * dia} \right)$$

Niña

$$0,0000816 * 60\% = 0,00004896 \left(\frac{mg}{kg * dia} \right)$$

- **Cantidad total en tejidos blandos**

Hombre

$$0,0000000366 + 0,000003294 = 0,00000333 \left(\frac{mg}{kg * dia} \right)$$

Mujer

$$0,0000000304 + 0,000006849 = 0,00000399 \left(\frac{mg}{kg * dia} \right)$$

Niño

$$0,000003044 + 0,00004566 = 0,000048704 \left(\frac{mg}{kg * dia} \right)$$

Niña

$$0,000003264 + 0,00004896 = 0,000052224 \left(\frac{mg}{kg * dia} \right)$$

En los tejidos blandos la dosis absorbida es la que mayor cantidad de Pb aporta, sin embargo el Pb proveniente de la sangre representa una pequeña cantidad del total en este compartimiento. En estos resultados se sigue evidenciando que la mayor cantidad de Pb es adquirido por la niña.

- **Eliminación de Plomo por orina**

Hombre

$$0,00000333 * 75\% = 0,00000250 \left(\frac{mg}{kg * dia} \right)$$

Mujer

$$0,00000399 * 75\% = 0,00000300 \left(\frac{mg}{kg * dia} \right)$$

Niño

$$0,000048704 * 75\% = 0,000036528 \left(\frac{mg}{kg * dia} \right)$$

Niña

$$0,000052224 * 75\% = 0,000039168$$

En la eliminación por orina se tiene en cuenta el Pb almacenado en los tejidos blandos, pues a partir de este se elimina el 75% por esta vía.

- **Eliminación de Plomo por excretas**

Hombre

$$0,00000333 * 17\% = 0,00000057 \left(\frac{mg}{kg * dia} \right)$$

Mujer

$$0,00000399 * 17\% = 0,00000100 \left(\frac{mg}{kg * dia} \right)$$

Niño

$$0,000048704 * 17\% = 0,00000827968 \left(\frac{mg}{kg * dia} \right)$$

Niña

$$0,000052224 * 17\% = 0,00000887808 \left(\frac{mg}{kg * dia} \right)$$

En la eliminación por excretas también se tiene en cuenta el Pb almacenado en los tejidos blandos, pues a partir de este se elimina el 17% por esta vía.

- **Eliminación de Plomo por sudor**

Hombre

$$0,00000333 * 8\% = 0,00000027 \left(\frac{mg}{kg * dia} \right)$$

Mujer

$$0,00000399 * 8\% = 0,00000032 \left(\frac{mg}{kg * dia} \right)$$

Niño

$$0,000048704 * 8\% = 0,0000389632 \left(\frac{mg}{kg * dia} \right)$$

Niña

$$0,000052224 * 8\% = 0,0000417792 \left(\frac{mg}{kg * dia} \right)$$

En la eliminación por sudor se tiene en cuenta el Pb almacenado en los tejidos blandos, pues a partir de este se elimina el 8% por esta vía; por todas las vías de eliminación la niña es el individuo que mayor concentración de Pb elimina al día.

3.9.7.1. Efectos en la salud según concentración en sangre

Teniendo en cuenta la dosis absorbida por cada individuo, se calculó la concentración de Pb presente en el torrente sanguíneo; sabiendo que en adultos solo el 10% de dicha dosis entra en este compartimiento y en niños el 40%.

- **Hombre adulto**

Dosis absorbida: $0.00000366 \frac{mg}{kg * dia}$

Primero se realizó la conversión a mg/kg, teniendo en cuenta la expectativa de vida de un hombre adulto en Colombia (70 años).

$$0.00000366 \frac{mg}{kg * dia} * \frac{365 dias}{año} * 70 años = 0.093513 \frac{mg}{kg}$$

Después se determinó el 10% de concentración que ingresa a la sangre.

$$0.093513 \frac{mg}{kg} * 10\% = 0.0093513 \frac{mg}{kg}$$

Y teniendo en cuenta que un hombre de 78 kg tiene 5.46 litros de sangre se conoció la cantidad de plomo en sangre.

$$0.0093513 \frac{mg}{kg} * \frac{78 kg}{5.46 l} * \frac{1 l}{10 dl} * \frac{1000 \mu g}{1 mg} = 13.35 \frac{\mu g}{dl}$$

- **Mujer**

Dosis absorbida: $0.00000439 \left(\frac{mg}{kg * dia} \right)$

Se realizó el mismo procedimiento anterior.

$$0.00000439 \frac{mg}{kg * dia} * \frac{365 dias}{año} * 70 años = 0.1121645 \frac{mg}{kg}$$

Después se determinó el 10% de concentración que ingresa a la sangre.

$$0.1121645 \frac{mg}{kg} * 10\% = 0.01121645 \frac{mg}{kg}$$

Por último se realizó la conversión a $\mu g/dl$ teniendo en cuenta la cantidad de sangre presente en una persona que pesa 64 kg.

$$0.01121645 \frac{mg}{kg} * \frac{64 kg}{4.55 l} * \frac{1 l}{10 dl} * \frac{1000 \mu g}{1 mg} = 16.02 \frac{\mu g}{dl}$$

Con la concentración de Pb en sangre en hombre y mujer, se determina que estos individuos están expuestos a desarrollar hipertensión, a disminuir su función renal y efectos menores como disminución de hemoglobina y por ende anemia normocítica e hipocrómica.

- **Niño**

Dosis absorbida: $0.0000816 \left(\frac{mg}{kg * dia} \right)$

Primero se realizó la conversión a mg/kg, teniendo en cuenta el tiempo de exposición del niño con un peso específico (5 años).

$$0.0000761 \frac{mg}{kg * dia} * \frac{365 dias}{año} * 5 años = 0.1388825 \frac{mg}{kg}$$

Después se determinó el 40% de concentración de Pb que ingresa a la sangre en los niños.

$$0.1388825 \frac{mg}{kg} * 40\% = 0.055553 \frac{mg}{kg}$$

$$0.055553 \frac{mg}{kg} * \frac{15 kg}{1.05 l} * \frac{1 l}{10 dl} * \frac{1000 \mu g}{1 mg} = 79.36 \frac{\mu g}{dl}$$

- **Niña**

Dosis absorbida: $0.0000816 \frac{mg}{kg * dia}$

Se repitió el procedimiento del niño.

$$0.0000816 \frac{mg}{kg * dia} * \frac{365 dias}{año} * 5 años = 0.14892 \frac{mg}{kg}$$

Después se determinó el 40% de concentración de Pb que ingresa a la sangre en los niños.

$$0.14892 \frac{mg}{kg} * 40\% = 0.059568 \frac{mg}{kg}$$

$$0.059568 \frac{mg}{kg} * \frac{14 kg}{0.98 l} * \frac{1 l}{10 dl} * \frac{1000 \mu g}{1 mg} = 85.09 \frac{\mu g}{dl}$$

En niños la concentración de Pb en sangre es mayor que en adultos y así mismo las afecciones al organismo. Según las concentraciones calculadas, los niños menores a 6 años pueden presentar: bajo crecimiento y desarrollo, disminución de la capacidad auditiva, baja velocidad de conducción en los nervios, reduce el metabolismo de la vitamina D, cólicos abdominales, nefropatía por daños en los riñones y encefalopatía, siendo esta la afección más grave derivada de estas concentraciones en sangre; pues es la perdida de la función cerebral debido a que el hígado ya no puede eliminar toxinas de la sangre.

4. CONCLUSIONES

- Debido a que el límite de cuantificación empleado por el laboratorio es alto los informes reportan concentraciones por debajo de dicho límite.
- En la zona la ruta de exposición del plomo inicia con el agua contaminada del embalse del Muña, el aire de la zona y el suelo aledaño, los anteriores son los medios responsables de transportar el metal desde la fuente hasta los puntos de exposición. Para este trabajo el punto de exposición son las fresas procedentes de cultivos agrícolas cercanos a las fuentes de exposición.
- En la elaboración de la cinética ambiental del plomo en la zona se identificaron dos vías de exposición; la inhalación por medio de las emisiones de industrias cercanas y la ingestión por el consumo de las fresas del cultivo, para este proyecto se trabajó solo la ingestión, debido al fácil acceso de los datos, y por ser el tema principal de la investigación. Con los datos conocidos se desarrollaron diferentes ecuaciones que ayudaron a determinar las concentraciones que ingresan por ingestión en el organismo.
- Por medio de las concentraciones detectadas por el equipo, pero no reportadas por el laboratorio, debido a que se encontraron por debajo del límite de cuantificación; se realizó un análisis de riesgos por ingestión por medio del cual se conoció que una niña menor a 6 años es el individuo que mayor dosis de Pb absorbe en su organismo, si ingiere la máxima concentración de Pb en fresa detectada en este estudio. Así mismo un hombre adulto es la persona que menor porción de Pb absorbe en su organismo. Por tanto puede consumir 244 gramos de fresa contaminadas de Pb al día sin sufrir efectos crónicos en su organismo, 83% más que la cantidad que puede consumir una niña menor de 6 años (41g/día).
- Según la concentraciones detectadas debajo del límite, el 78,9% de estas superan el nivel máximo permitido por la resolución 4506 de 2013, expedida por el ministerio de salud y protección social.
- La concentración de Pb en suelo detectada representa menos del 1% del valor de referencia para suelo de uso agrícola establecido por la OMS. Por tanto esta concentración no representa riesgo de transferencia del contaminante hacia la fruta, pues no genera un aporte significativo a las concentraciones de Pb en fresa.

- Debido a que la concentración de plomo en suelo fue pequeña en comparación con las detectadas en fresa, se puede decir que no se evidencia biomagnificación del plomo en el cultivo, pues se esperaba que la concentración en fruta dependiera de la concentración del contaminante en el suelo, debido a que las plantas realizan una absorción radicular de compuestos contenidos en este y los transporta por toda la planta hasta llegar a la fresa. Cabe resaltar que debido a la cobertura con polietileno el muestreo de suelo realizado fue muy superficial (4 cm) y por tanto no asegura las concentraciones de Pb presentes a mayor profundidad.
- Es difícil establecer si la escorrentía del agua de riego o la precipitación influye en la distribución de las concentraciones de Pb dentro del cultivo, pues las curvas de nivel analizadas para conocer la inclinación se encuentran en un área muy pequeña.

5. RECOMENDACIONES

- Para próximas investigaciones similares se recomienda utilizar un método de espectrofotometría de mayor sensibilidad, con el fin de detectar bajas concentraciones. Se presenta como opción la técnica de espectrometría de masa de plasma acoplado inductivamente, la cual maneja un límite de detección de trazas menores a 0.01 µg/l y es una técnica multielemento; también se recomienda la técnica de absorción atómica electrotérmica o cámara de grafito debido a que trabaja con un límite de detección de 1 µg/l - 0.01 µg/l.
- Se recomienda ampliar la zona de estudio para determinar la influencia del embalse del Muña en otros cultivos de diferentes sectores del municipio y analizar el riesgo al que están expuestos los consumidores.
- Para obtener mayor representatividad en el muestreo del cultivo, se recomienda calcular el número de muestras con un nivel de confianza mayor al 95% y un error que no exceda el 5%. Así mismo se aconseja realizar un muestreo simple, con el fin de ver si existe una la relación entre concentraciones de Pb en suelo y en fresa; por medio de un análisis de varianza.
- Para evidenciar claramente la influencia de las aguas contaminadas depositadas en el embalse sobre otro cultivo, se recomienda realizar el muestreo y análisis de un terreno agrícola que se ubique cerca de la ribera de este cuerpo de agua.
- Para determinar si la inclinación del terreno influye en la distribución de las concentraciones dentro del cultivo por acción de la escorrentía del agua, se recomienda analizar las curvas de nivel en un área mayor a la hectárea comprendida por el cultivo.
- Se recomienda consultar la parte del mercado de fresas que es abastecido por los frutos de Sibaté, con el fin de conocer la población puntual que consume dicho producto.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. Miranda, C. Carranza, C. A. Rojas, C. M. Jerez, G. Fischer y J. Zurita, «Acumulación de metales pesados en suelo y plantas de cuatro cultivos hortícolas, regados con agua del río Bogotá,» *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, pp. vol. II, nº 2, pp. 180-191, 2008.
- [2] Corporación para el desarrollo del Cauca, Alianza para el fortalecimiento de la cadena productiva de frutas-fresa en el municipio de Sotaró, región del macizo Colombiano, Popayan, 2005.
- [3] Alcaldía de Sibaté, Plan Básico de Ordenamiento Territorial-PBOT, Sibaté, 2010.
- [4] Alcaldía de Sibaté, «Alcaldía Sibaté-Cundinamarca,» 2012. [En línea]. Available: <http://www.sibate-cundinamarca.gov.co/presentacion.shtml>. [Último acceso: 04 Abril 2015].
- [5] Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), Censo General, Bogotá: DANE, 2005.
- [6] Departamento Administrativo Nacional de Estadística, «Estimaciones de población 1985 - 2005 y proyecciones de población 2005 - 2020 total municipal por área,» DANE, Bogotá, 2005.
- [7] Alcaldía Municipal de Sibaté, Plan de Desarrollo Sibaté-Cundinamarca, Sibaté, 2008.
- [8] Alcaldía municipal de Sibaté, Plan municipal de contingencia contra incendios forestales para el municipio de Sibaté, Cundinamarca, Sibaté: Alcaldía de Sibaté, 2013.
- [9] Empresas Públicas Municipales de Sibaté, «Empresas Públicas Municipales de Sibaté,» [En línea]. Available: http://www.epmsibate.com/epmsibate/index.php?option=com_content&task=view&id=32&Itemid=56. [Último acceso: 17 Abril 2015].
- [10] Secretaría de Salud de Sibaté, Plan territorial de salud, Sibaté, 2012.
- [11] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Diagnóstico nacional de salud ambiental, Bogotá, 2012.
- [12] D. Llistar y T. Roa, «El caso del Embalse del Muña: inversión pestilente en manos de ENDESA,» *Ecología Política*, nº 30, pp. 7-20, 2005.

- [13] Sociedad Española de Nutrición Comunitaria, «Fresa,» *Revista Española de Nutrición Comunitaria*, pp. 243-244, 2011.
- [14] Clavijo, Produccion de Frutas y Hortalizas, Bogotá, 1995.
- [15] Ministerio de Agricultura y Ganadería, Agrocadena de Fresa, Grecia Alajuela, 2007.
- [16] V. E. Guáqueta Solórzano, Incidencia del cambio climático en las prácticas agrícolas y saberes locales de los fresicultores: Estudio de caso en la finca “El Rosal”, vereda “Perico”- Sibaté (Cundinamarca), Bogotá D.C: Universidad Javeriana, 2013.
- [17] Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Análisis del flujo del comercio y revisión de prácticas de manejo ambientalmente racionales de productos conteniendo cadmio, plomo y mercurio en américa latina y el caribe, 2010.
- [18] M. Florea y D. Büsselberg, «Occurrence, use and potential toxic effects of metals and metal compounds,» *BioMetals*, pp. 419-427, 2006.
- [19] M. M. Acosta de Armas y J. X. Montilla Peña, Evaluación de la contaminación por cadmio y plomo en agua, suelo, y sedimento y analisis de impactos ambientales en la subcuenca del Río Bogotá, Bogotá: Universidad de la Salle, 2011.
- [20] Servicio Agrícola y Ganadero de Chile, Criterios de Calidad de Suelos y Aguas de Riego, Santiago de Chile: SAG, 2006.
- [21] R. A. Sánchez Andica y A. F. Chamorro, «Estudio de la Adsorción de Plomo en Suelos de la Región Minera en el Distrito de Buenos Aires en el Departamento del Cauca, Colombia,» *Revista de Ciencias*, pp. 145-160, 2012.
- [22] S. Wong, X. Lia, G. Zhang, S. Qi y Y. Min, «Heavy metals in agricultural soils of the Pearl River Delta, South China,» *Environmental Pollution*, pp. 33-44, 2002.
- [23] M. Á. Sogorb y E. Vilanova, Técnicas analíticas de contaminantes químicos, España: Díaz de Santos, 2004.
- [24] S. Gómez, M. I. Sierra, D. Pérez y S. Morante, Analisis Instrumental, Volumen 1, La Coruña: netbiblo S.L, 2010.
- [25] V. Gomis Yagües, Técnicas instrumentales de análisis industrial, 2008.
- [26] S. Vega, Toxicología I: cinética y efectos de los contaminantes tóxicos del ambiente, México D.F, 1985.

- [27] J. Gisber Calabuig y E. Villanueva Cañadas, Medicina legal y toxicología, Barcelona: Salvat-Masson, 2001.
- [28] F. Díaz Barriga y G. Corey Orellana, Evaluación del riesgo por la exposición a Plomo, Mexico D.F: Universidad Autónoma de San Luis de Potosí, 1995.
- [29] Cámara Minera de México, Manual para el manejo ambientalmente responsable del plomo, México D.F: Industrias Peñoles S.A, 2006.
- [30] D. González y W. Rojas, Relación entre la exposición crónica ocupacional al plomo y los efectos neurocomportamentales revisión documental, Bogotá D.C : Pontificia Universidad Javeriana, 2008.
- [31] A. Padilla, N. Rodriguez y A. Martinez, Protocolos de vigilancia sanitaria específica: Plomo, País Vasco: Ministerio de Sanidad y Consumo, 1999.
- [32] A. Padilla Magunazelaia, A. Martínez Castillo y N. Rodríguez , Protocolos de vigilancia sanitaria específica: Plomo, País Vasco: Solana e Hijos Artes Gráficas, S.A., 1999.
- [33] A. Ramírez, «El cuadro clínico de la intoxicación ocupacional por plomo,» *Anales de la Facultad de Medicina*, pp. 57-70, 2005.
- [34] M. Kopplin, «The University of Arizona, Center for Toxicology,» 25 Marzo 2004. [En línea]. Available: <http://toxamb.pharmacy.arizona.edu/c2-3-1.html>.
- [35] P. Sanz y M. Repeto, Glosario de Terminos Toxicologicos, España: Asociación Española de Toxicología, 1995.
- [36] Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos, Decreto 3075 DE 1997, Bogotá: INVIMA, 1997.
- [37] J. Bello Gutiérrez y A. Lopéz, Fundamentos de Ciencia Toxicológica, Madrid-España: Díaz de Santos, 2001.
- [38] GreenFacts, «GreenFacts,» 2000. [En línea]. Available: <http://www.greenfacts.org/es/glosario/abc/bioacumulacion-bioacumular.htm> .
- [39] Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Los fertilizantes y su uso, Roma: Fertilizer Publications, 2002.
- [40] G. Torres , «Primeros Auxilios,» 15 Mayo 2008. [En línea]. Available: <http://auxilios.blogcindario.com/2008/05/00008-intoxicaciones.html>.

- [41] International Union of Pure and Applied Chemistry, « Environmental Health and Toxicology,» 22 Enero 2013. [En línea]. Available: <http://sis.nlm.nih.gov/enviro/iupacglossary/glossaryt.html>.
- [42] Real Academia Española, «Real Academia Española,» 2015. [En línea]. Available: <http://lema.rae.es/drae/?val=plomo>.
- [43] M. Repetto y G. Repetto, Toxicología fundamental, Díaz de Santos, 2009.
- [44] Alcaldía Municipal de Sibaté, Plan anual de adquisiciones, Sibaté: Alcaldía Municipal de Sibaté, 2014.
- [45] Universidad Santo Tomás, «Universidad Santo Tomás,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.usta.edu.co/index.php/nuestra-institucion/mision-vision>.
- [46] Valagro S.p.A., Ficha técnica fertilizante Master 13-40-13, Valagro S.p.A., 2010.
- [47] E. A. Rodríguez, Metodología de la Investigación, Villahermosa, México: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, 2005.
- [48] Environmental Protection Agency, A framework for assessing health risks of environmental exposures to children, Washington D.C: EPA, 2006.
- [49] R. R. Canales Pastrana, Noción de avalúo de riesgo, Puerto Rico: Universidad Bayamon, 2012.
- [50] Environmental Protection Agency, Guidance for assessing chemical contaminant data for use in fish advisories, United States, 2000.
- [51] R. Fernández, S. García , A. Haas , C. A. Swiecky y A. S. Saracco, Guía de prevención, diagnóstico, tratamiento y vigilancia epidemiológica de las intoxicaciones ambientales infantiles con plomo, Buenos Aires: Ministerio de Salud, 2013.
- [52] Emgesa, Plan de Seguimiento y Monitoreo Ambiental del Embalse del Muña, Bogotá D.C, 2007.
- [53] United Nations Environment Programme, United Nations Children's Fund & World Health Organization, Children in the New Millennium: Environmental Impact on Health, Republica de Malta, 2002.

Anexos

Anexo 1: Cadena de custodia

Imagen 11. Cadena de custodia fresas de la muestra No 1 a la 16

[illegible]

Fuente: Las autoras

Imagen 14. Cadena de custodia agua de la muestra No 1 y 2

[illegible]

Fuente: Las autoras

Anexo 3: Fotos

Imagen 15. Carrera 7



Fuente. Las autoras

Imagen 16. Cultivo de fresa y Carrera 7



Fuente. Las autoras

Imagen 17. Entrada al predio



Fuente. Las autoras