



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA EN PETROQUÍMICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO PETROQUÍMICO**

**TEMA: ANÁLISIS DE LA CONCENTRACIÓN DE COBRE,
NÍQUEL, PLOMO Y CADMIO EN MUESTRAS DE SUELO
BAJO INFLUENCIA DE EFLUENTES DE TRES TIPOS DE
INDUSTRIAS EN LA CIUDAD DE LATACUNGA MEDIANTE
LA UTILIZACIÓN DE ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN
ATÓMICA A LA LLAMA**

AUTORA: CELA JÁCOME, JESSENIA JHOMARA

DIRECTOR: URRUTIA GOYES, EDGAR RICARDO, PhD

LATACUNGA

2019



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN PETROQUÍMICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, ***“ANÁLISIS DE LA CONCENTRACIÓN DE COBRE, NÍQUEL, PLOMO Y CADMIO EN MUESTRAS DE SUELO BAJO INFLUENCIA DE EFLUENTES DE TRES TIPOS DE INDUSTRIAS EN LA CIUDAD DE LATACUNGA MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA A LA LLAMA”*** fue realizado por la señorita ***Cela Jácome, Jessenia Jhomara*** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 26 de junio de 2019

Una firma manuscrita en tinta azul, que parece ser la de Ricardo Urrutia Goyes, sobre una línea horizontal.

Ricardo Urrutia Goyes, PhD

C.C.: 1803599313



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN PETROQUÍMICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, *Cela Jácome, Jessenia Jhomara*, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: *Análisis de la concentración de cobre, níquel, plomo y cadmio en muestras de suelo bajo influencia de efluentes de tres tipos de industrias en la ciudad de Latacunga mediante la utilización de espectroscopía de absorción atómica a la llama* es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Latacunga, 26 de junio de 2019

Jessenia Jhomara Cela Jácome

C.C.: 0502535677



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN PETROQUÍMICA

AUTORIZACIÓN

Yo, *Cela Jácome, Jessenia Jhomara* autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación *Análisis de la concentración de cobre, níquel, plomo y cadmio en muestras de suelo bajo influencia de efluentes de tres tipos de industrias en la ciudad de Latacunga mediante la utilización de espectroscopía de absorción atómica a la llama* en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Latacunga, 26 de junio de 2019

Una firma manuscrita en azul que dice "Jessenia Cela".

Jessenia Jhomara Cela Jácome

C.C.: 0502535677

AGRADECIMIENTO

“Gratitud sentimiento noble que enaltece el alma y enriquece al corazón, convirtiendo al hombre en mejor ser humano”

A mis padres por el apoyo incondicional durante el proceso de formación académica.

A mi hermana por su amor incondicional y ser ejemplo de perseverancia por alcanzar cada objetivo propuesto.

A mi director de tesis Ricardo Urrutia, PhD por su guía y ayuda en el desarrollo del presente proyecto de tesis.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga por ser pionera en la formación de Líderes.

A la Ing. Caterine Donoso Docente a cargo del laboratorio No. 3 de Ingeniería y Separaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga, por la apertura y facilidades prestadas durante la ejecución del presente proyecto.

A los Docentes: Alicia Guevara, PhD Jefa Departamental de Metalurgia Extractiva, MSc. Evelyn Criollo Jefe de Laboratorio de Metalurgia Extractiva, Ernesto De la Torre, PhD Decano de la Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria de la Escuela Politécnica Nacional, por los conocimientos y colaboración brindada durante la ejecución del presente proyecto.

Al Gobierno del Ecuador por brindar a todos los jóvenes la oportunidad de cumplir sus sueños y consolidarse como entes productivos dentro de la sociedad.

A todos quienes de una u otra manera colaboraron en el cumplimiento de este proyecto.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT	xiii

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Planteamiento del problema	4
1.3. Justificación e importancia	5
1.4. Objetivos.....	6
1.4.1. Objetivo general	7
1.4.2. Objetivos específicos.....	7

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Ciudad de Latacunga	8
2.1.1. Cedal Aluminio. Planta Latacunga.....	8

2.1.2.	Molinos Poulter S.A.....	9
2.1.3.	Textiles Cotopaxi.....	9
2.2.	Suelo.....	9
2.2.1.	Metales pesados en el suelo.....	10
2.3.	Análisis químicos aplicados al estudio de suelos	11
2.3.1.	Método USEPA 3050B y 3052	13
2.3.2.	Espectroscopía de absorción atómica a la llama	14

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1.	Ubicación.....	15
3.2.	Muestreo del suelo.....	18
3.3.	Preparación del suelo.....	19
3.4.	Análisis químico de metales pesados	19
3.5.	Análisis estadístico	20

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Análisis de las muestras de suelo	22
4.2.	Cobre	32
4.3.	Níquel	34
4.4.	Plomo.....	36
4.5.	Comparación de concentraciones entre tamices utilizados	38

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.	Conclusiones.....	41
5.2.	Recomendaciones.....	43
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		44
ANEXOS		49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Análisis químicos elementales de suelos</i>	13
Tabla 2	<i>Nomenclatura para la recolección de muestras de distintos puntos de la Ciudad de Latacunga.....</i>	18
Tabla 3	<i>Diseño de bloques completos aleatorizados para la concentración del metal pesado SN en las muestras de suelo obtenidas en la Ciudad de Latacunga.....</i>	21

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Centro de la Ciudad de Latacunga	16
Figura 2	Sector Rural de la Ciudad de Latacunga. Parroquia Joseguango Bajo	17
Figura 3	Definición de zonas de estudio en el Centro de la Ciudad de Latacunga	23
Figura 4	Definición de zona de estudio del Sector Rural de la Ciudad de Latacunga.....	24
Figura 5	Media de concentración (mg/Kg) del cobre, níquel, plomo y cadmio respecto a las zonas muestreadas.....	25
Figura 6	Estimación de la concentración del cobre, níquel y plomo entre los puntos muestrales de la zona 1	28
Figura 7	Estimación de la concentración del cobre, níquel y plomo entre los puntos muestrales de la zona 2	29
Figura 8	Estimación de la concentración del cobre, níquel y plomo entre los puntos muestrales de la zona 3	30
Figura 9	Estimación de la concentración del cobre, níquel y plomo entre los puntos muestrales de la zona 4	31
Figura 10	Comparación de los resultados de la concentración de cobre en los diferentes puntos de toma de muestras.....	32
Figura 11	Comparación de los resultados de la concentración de cobre para los dos tamaños de partículas analizados.....	33
Figura 12	Comparación de los resultados de la concentración de níquel para los diferentes puntos de toma de muestras.....	34
Figura 13	Comparación de los resultados de la concentración de níquel para los dos tamaños de partículas analizados.....	35
Figura 14	Comparación de los resultados de la concentración de plomo para los diferentes puntos de toma de muestras	36

Figura 15 Comparación de los resultados de la concentración de plomo para los dos tamaños de partículas analizados	37
Figura 16 Comparación de los resultados de la concentración de plomo para los dos tamaños de partículas analizados	38
Figura 17 Comparación de los resultados de la concentración de níquel para los dos tamaños de partículas analizados.....	39
Figura 18 Comparación de los resultados de la concentración de plomo para los dos tamaños de partículas analizados	40

RESUMEN

La contaminación del medio ambiente ha incrementado en las últimas décadas como consecuencia de las diversas actividades humanas y la presencia de diversos compuestos químicos, entre ellos los metales pesados. El presente proyecto de tesis analizó y determinó la presencia de cobre, níquel, plomo y cadmio mediante espectrofotometría de absorción atómica, con el fin de establecer la composición específica de dichos metales y la relación existente con el tamaño de partícula de cada muestra de suelo. Se obtuvieron muestras de suelos de 19 localidades de la ciudad de Latacunga, dos zonas con influencia del sector industrial y dos zonas de recreación y acceso público. Las muestras obtenidas recibieron pretratamiento para luego ser analizadas mediante espectrofotometría de absorción atómica a la llama y la metodología USEPA 3050B y USEPA 3052. Finalmente, se aplicó un análisis estadístico perteneciente a un diseño de bloques completo aleatorizado, un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de confianza del 95% ($\alpha=0.05$), prueba *t* pareada y gráficas que relacionen las variables propuestas. Los resultados determinaron que la concentración de cobre es menor en partículas de 38 μm y la concentración de níquel y plomo es mayor en partículas de 1,000 μm . La concentración de níquel sobrepasa los límites establecidos en la “Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados” en todas las zonas de estudio, la zona 1 y la zona 2, de acceso público, posee concentraciones de cobre y níquel respectivamente que sobrepasa los límites establecidos en dicha norma.

PALABRAS CLAVE:

- **METALES PESADOS**
- **LATACUNGA - INDUSTRIAS**
- **MUESTRAS SUELO**
- **ABSORCIÓN ATÓMICA**

ABSTRACT

Pollution of the environment has increased in recent decades as a result of various human activities and the presence of various chemical compounds, including heavy metals. The present thesis project analyzed and determined the presence of copper, nickel, lead and cadmium by atomic absorption spectrophotometry, in order to establish the specific composition of said metals and the existing relationship with the particle size of each soil sample. Soil samples were obtained from 19 localities in the of Latacunga city, two zones with influence from the industrial sector and two recreation areas and public access. The samples obtained were pretreated and then analyzed by flame atomic absorption spectrophotometry and the USEPA 3050B and USEPA 3052 methodology. Finally, a statistical analysis belonging to a randomized complete block design, an analysis of variance (ANOVA) was applied. with a confidence level of 95% ($\alpha = 0.05$), paired *t* test and graphs that relate the proposed variables. The results determined that the copper concentration is lower in particles of 38 μm and the concentration of nickel and lead is higher in particles of 1,000 μm . The concentration of nickel exceeds the limits established in the "Environmental quality standard for soil resources and remediation criteria for contaminated soils" in all study zones, zone 1 and zone 2, of public access, has concentrations of copper and nickel respectively that exceeds the limits established in that standard.

KEYWORDS:

- **HEAVY METALS**
- **LATACUNGA - INDUSTRIES**
- **SOIL SAMPLE**
- **ATOMIC ABSORPTION**

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

En las últimas décadas la contaminación del agua, aire, suelo, y ambiente se encuentra entre los principales problemas a nivel mundial. Dicha contaminación proviene principalmente de la actividad humana y las malas prácticas con los tratamientos de desechos. La contaminación se da por la presencia de diversos compuestos químicos, entre ellos los metales pesados, los mismos que se han ido incrementando con el paso del tiempo generando daños a la salud y al ambiente. Estos metales al encontrarse en el suelo pueden transferirse a los seres vivos a través de la cadena alimenticia (Reyes, Vergara, Torres, Díaz, & González, 2016).

Los metales pesados se encuentran presentes en la corteza terrestre en su forma elemental o formando parte de otros compuestos químicos. Su concentración varía dependiendo del tipo de suelo y la actividad que se lleva a cabo, por lo que los niveles de control, aceptación y no contaminación dependerán de la actividad realizada; sin embargo, debido a la dificultad en el análisis de calidad de suelos y reglamentos ambientales existentes en Ecuador, no existe un control adecuado para la contaminación de los suelos por metales pesados al igual que la baja existencia de estudios relacionados a la presencia y variación de dichos metales en los suelos del país con sus respectivas consecuencias (García, Moreno, Hernández, & Polo, 2002).

Varios estudios respecto a la presencia de metales pesados en el aire y sedimentos han sido propuestos, sin embargo, existen pocos estudios que relacionen la concentración de metales pesados con el tamaño de partícula del suelo que lo contiene. Las concentraciones de plomo, zinc, cobre, cadmio y cromo presentan una tendencia exponencial que aumenta con la disminución de la fracción de tamaño de partícula de muestras pertenecientes a sedimentos urbanos, donde la concentración de los metales mencionados exhibe una disminución constante para las fracciones $> 500 \mu\text{m}$. Indicando que la concentración de plomo, zinc, cobre, cadmio y cromo es mayor en la fracción de partículas de menor tamaño (Zafra, Temprano, &

Tejero, 2011). Respecto a la presencia de cadmio, cromo, cobre, níquel, plomo y zinc en sedimentos depositados en caminos, en Beijing, China específicamente, se evidenció una mayor concentración de los metales pesados en las partículas de grano más pequeñas ($< 44 \mu\text{m}$) en la mayoría de áreas estudiadas (Zhao, Li, Wang, & Tian, 2010).

El perfil de concentración de metales pesados en los suelos no siempre va a ser la misma, por lo tanto, la concentración de los mismos en los diversos tamaños de partículas también varía dependiendo del tipo de suelo, la actividad realizada, clima, entre otros factores. El estudio sobre la concentración de cadmio en partículas de diferentes tamaños de un suelo de la Cuenca del Lago de Valencia, Venezuela, reflejó que no existe diferencia significativa entre el tamaño de las partículas de suelo ($\leq 2 \text{ mm}$, $\leq 1 \text{ mm}$, $\leq 0.5 \text{ mm}$, $\leq 0.25 \text{ mm}$) y la concentración total de cadmio, por lo que si se realiza una extracción en cualquier tamaño de partícula analizada, los resultados son estadísticamente iguales (González, Thompson, Martínez, & Sánchez, 2010). Estos resultados difieren de los resultados obtenidos en los otros tipos de suelos.

Ecuador posee 4 regiones, costa, sierra, amazonía e insular o galápagos. Cada región posee tipos de suelos, clima, vegetación y fauna específica. La región sierra posee áreas ubicadas sobre los 1,300 m sobre el nivel del mar con dos cadenas montañosas paralelas que van de norte a sur con presencia de importantes volcanes. Con el paso de los años, gran parte de los suelos del país han sufrido deterioros por el uso de tecnologías inadecuadas, incumplimiento de leyes, uso de fertilizantes y fungicidas con alto contenido químico, lo que ha generado problemas de contaminación, erosión, desgaste de la base nutricional, entre otras (Suquilanda, 2008).

Las normas de calidad para los suelos varían de acuerdo con las leyes de cada país, por lo que puede o no existir límites máximos permisibles para cada metal pesado, compuesto orgánico y/o desecho de hidrocarburo. Tomando como referencia cuatro metales pesados; cobre, níquel, plomo y cadmio, en Ecuador la “Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados” refleja valores de 0.5 mg/Kg para el cadmio, 30 mg/Kg para el cobre, 20 mg/Kg para el níquel y 25 mg/Kg para el plomo como niveles representativos de contaminantes en el suelo (Presidencia de la Republica del Ecuador, 2017). México en la “NORMA Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004” establece como concentraciones de referencia totales para suelo agrícola, residencial y

comercial de 37 mg/Kg para Cadmio, 1,600 mg/Kg para el níquel y 400 mg/Kg para el plomo y para la concentración de cobre no existe un valor establecido (Estados Unidos Mexicanos, 2004). Argentina mediante “Decreto Oficial 831/93. Anexo II. Tabla 9. Niveles guía de calidad de Suelo” indica como valores de concentración en suelos residenciales para el cadmio de 5 µg/g peso seco, para el cobre 100 µg/g peso seco, para el níquel 100 µg/g peso seco y para el plomo 500 µg/g peso seco (República de Argentina, 2009). Mientras que Holanda en la “Circular de remediación de suelos 2013, versión del 1 de julio de 2013” prescribe como valores de concentración en el suelo para cadmio de 13 mg/Kg, para cobre de 190 mg/Kg, para plomo de 530 mg/Kg y para níquel de 100 mg/Kg (Holanda, 2013).

De los reglamentos y normas citadas, pertenecientes a diversos países, se observa la existencia de diversos valores permisibles para los metales mencionados al igual que clasificaciones o no del suelo según el uso al cual este destinado dicho recurso. Adicionalmente cada país posee permisos y requerimientos de uso de suelos específicos para los diversos tipos de industrias y empresas, por lo que las sanciones por el mal uso y contaminación también varía.

La ciudad de Latacunga como capital de la provincia de Cotopaxi posee zonas protegidas como la reserva ecológica de los Ilinizas, estribaciones del volcán Cotopaxi, paramos, zonas agrícolas y ganaderas, todas estas zonas se encuentran ubicadas en las parroquias rurales del cantón, mientras que el centro de la ciudad posee parques y zonas verdes destinadas a espacios de esparcimiento (Sánchez, 2016). La creación de los diferentes tipos de industrias va en aumento con el paso del tiempo como consecuencia de la demanda generada por la creciente población humana, por lo que daños generados al suelo, aire y agua como resultado de los procesos empleados incrementan junto con el progreso de las industrias. La industria encargada de la elaboración de productos en aluminio utiliza procesos de fundición, el mismo que produce efluentes de dioxinas, escorias de aluminio, plomo, cobre, estaño, zinc, aleaciones de latón y bronce, metales en polvo, lodos de filtros, restos de combustibles, entre otros, como residuos del proceso (Sosa, Banda-Noriega, & Guerrero, 2013). En la ciudad Latacunga la empresa dedicada a este tipo de industria es Cedal Aluminio.

La industria procesadora de harina de trigo y maíz presenta como principales contaminantes como efluentes de sus procesos sólidos totales y materia orgánica, sin embargo, contaminantes como productos combustibles y ciertos metales pesados como cobre,

arsénico, níquel, plomo, cadmio y zinc también pueden ser tomados en cuenta si no son tratados de manera correcta (Sedolfo Carrasquero, Roselyn Cordero, Marielba Mas y Rubí, 2016). La empresa Molinos Poulter S.A. en la ciudad de Latacunga es la que pertenece a este tipo de industria.

Finalmente, una industria textilera necesita una gran cantidad de agua en relación con otro tipo de industria, debido a los procesos de tinturado el agua residual del proceso de producción se encuentra contaminada por colorantes, surfactantes, sales inorgánicas y diversos compuestos químicos. Por esta razón es necesario el tratamiento de aguas antes de la descarga de las mismas hacia los efluentes hídricos. Los metales pesados que pueden existir como subproducto del proceso completo de producción son cadmio, cobre, plomo, níquel, mercurio y plomo (Gilpavas, Arbeláez-Castaño, Medina-Arroyave, & Gómez-Atehortua, 2018). En la ciudad de Latacunga la empresa Textiles Cotopaxi es la dedicada a este tipo de actividad productiva y comercial.

1.2. Planteamiento del problema

Con el fin de garantizar y preservar los derechos de la naturaleza para actuales y futuras generaciones, el Plan del Buen Vivir en Ecuador, permite y promueve el acceso a información y educación ambiental, para constituir una sociedad comprometida y con conciencia social respecto a los modelos de consumo y gestión de hábitat. De esta manera se podrá crear leyes que promuevan una política ambiental urbana, cuyo objetivo será fortalecer las capacidades de los gobiernos locales y organizaciones sociales, que permitan prevenir y controlar la contaminación ambiental, minimizando potenciales consecuencias negativas sobre el medio ambiente o la salud de las personas (Consejo Nacional de Planificación, 2017).

Existen diversos factores que pueden afectar la calidad del suelo, siendo la contaminación por presencia de metales pesados la más importante, la misma que puede constituirse en una problemática que afecta la seguridad ambiental y salud pública. La presencia de metales pesados en los suelos puede ser de origen natural o antropogénica. Se hace referencia al origen natural cuando la presencia de dichos metales se encuentra como constituyentes de minerales y como residuos de actividades volcánicas; mientras que el origen antropogénico se

refiere a un exceso de concentración de los metales pesados en el suelo como consecuencia de la actividad agrícola, ganadera, minera, industrial y la misma actividad realizada por el hombre, entre otras (Reyes et al., 2016).

La presencia de metales pesados en el suelo puede convertirse en un problema de contaminación cuando las concentraciones llegan a ser representativas e incluso excesivas. La concentración natural de un metal en el suelo se debe directamente a la roca madre que origina dicho suelo, mientras que la cantidad de metal que se incorpore al suelo va a depender del grado de resistencia del mineral que lo constituye y las acciones antrópicas, por lo que la concentración de los metales en los suelos varía considerablemente (García et al., 2002).

Un estudio sobre la variación de la concentración de metales pesados, como el cobre, níquel, plomo y cadmio, tomando en cuenta el tamaño de la partícula de las muestras de suelos permitirá obtener información acerca de la relación directa entre estas dos variables, la existencia o no de contaminación por la presencia de dichos metales pesados en las zonas de estudio y su relación directa con el tipo de industria tomada en cuenta para el presente trabajo de investigación.

Los cuatro metales pesados que se tomarán en cuenta para el presente proyecto fueron elegidos del total de metales pesados mencionados como subproductos o residuos de cada tipo de industria descrita debido a la presencia de cada uno de ellos en dichas industrias. Por lo que las empresas Cedal Alumino, Molinos Poulter S.A. y Textiles Cotopaxi ubicadas en la ciudad de Latacunga, debido a la actividad que realiza cada una de ellas, pueden utilizar cobre, níquel, plomo y cadmio en sus procesos.

1.3. Justificación e importancia

El suelo al no poseer claros estándares de calidad se convierte en un ente de difícil cuidado, por lo que no existen planes de protección, criterios específicos de control, prioridades para su remediación y estudios respecto a las relaciones existentes entre los diferentes parámetros que comprenden. Convirtiéndose así en el recurso menos controlado y remediado a nivel nacional.

El principal contaminante del suelo son los metales pesados. Dependiendo del origen de la roca madre cada tipo de suelo posee niveles bajos de metales, pero actividades de origen antropogénico o natural aumentan los niveles de dichos metales contaminando al mismo. El suelo al estar contaminado por metales pesados llega a generar daños a la fauna, flora y personas que lo habitan. Los metales pesados pueden transferirse a las plantas, las que sirven como alimentos que son consumidos por animales y los seres humanos. Al ser persistentes, es decir, no son creados ni degradados, generan daños irreversibles a la salud.

Las industrias de fundición, textiles y productoras de harinas, debido a los procesos que emplean pueden contribuir en gran cantidad al aumento de la concentración de metales pesados en la tierra, sobre todo en las orillas de los ríos en donde son descargados los efluentes líquidos de dichos procesos de producción. El nivel de contaminación por parte de cada una de estas industrias varía como consecuencia de los procesos empleados, por lo que la cantidad de metales pesados se encuentran relacionados de forma directa a la actividad industrial.

Un estudio que determine la presencia de cobre, níquel, plomo y cadmio; y la relación entre el nivel de concentración de dichos metales con el tamaño de la partícula de la muestra de suelo obtenida permitirá conocer el tipo de tendencia que posee la relación de los parámetros mencionados.

Adicionalmente, el presente estudio permitirá concluir si existe contaminación en el suelo influenciado de forma directa por las tres industrias escogidas y su relación con el tipo de actividad que realiza cada una de ellas. Además permitirá plantear futuras investigaciones relacionadas al estudio del suelo, sus contaminantes y la relación existente con los factores que lo conforman, como por ejemplo la relación existente entre la presencia de metales pesados en el suelo y la corrosión existente para una industria, métodos de protección catódica en base a los metales pesados existentes en una industria, planes de remediación ambiental para contaminación superficial de suelos, control y remediación para suelos industriales dependiendo el tipo de contaminación existente, entre otros.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Analizar la concentración de cobre, níquel, plomo y cadmio en muestras de suelo bajo influencia de efluentes de tres tipos de industrias en la ciudad de Latacunga mediante la utilización de espectroscopía de absorción atómica a la llama.

1.4.2. Objetivos específicos

- Obtener muestras de suelos con influencia directa por tres zonas industriales de la Ciudad de Latacunga para determinar la presencia de cobre, níquel, plomo y cadmio.
- Aplicar un pretratamiento a cada muestra de suelo obtenida para clasificarlas según el tamaño de partícula del suelo y su posterior análisis por espectroscopía de absorción atómica a la llama.
- Analizar la concentración de cobre, níquel, plomo y cadmio para cada muestra de suelo obtenida mediante la utilización de espectroscopía de absorción atómica a la llama.
- Determinar en qué tamaño de partícula de suelo existe mayor concentración de cobre, níquel, plomo y cadmio para establecer la relación y tendencia existente entre la concentración de los metales mencionados y el tamaño de partícula.
- Determinar las áreas con influencia de efluentes industriales en la Ciudad de Latacunga que presentan valores superiores a los límites máximos permisibles establecidos en leyes y normas nacionales e internacionales para establecer la existencia de contaminación y su relación con el tipo de actividad realizada.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Ciudad de Latacunga

La ciudad de Latacunga se encuentra posicionada en la región centro-norte del Ecuador, se presenta como la cabecera cantonal de la provincia de Cotopaxi a una altura aproximada de 2,850 metros sobre el nivel del mar donde predomina un tipo de clima frío andino, cuya zona es netamente volcánica. La extensión geográfica cubre alrededor de 138,630.57 ha. con formaciones diversas de suelos a lo largo de su territorio. Desde el punto de vista geomorfológico, descritos en el informe de diagnóstico del plan de desarrollo para el Cantón de Latacunga, se distinguen seis distintos tipos de relieves los cuales son: valle interandino, superficies aplanadas, colinas medianas, variantes cóncavas, convexas e irregulares de pie de monte, cimas agudas y pendientes escarpadas. En estas predominan las depresiones de valles interandinos y superficies aplanadas, en las cuales se muestran diferentes formaciones rocosas y de suelos que han sido acumulados por rellenos naturales producidos por los residuos piroclásticos, sedimentos y presencia de lahares. Dentro del cantón Latacunga se pueden distinguir 5 tipos de suelos que son: entisol, histosol, inceptisol, mollisol y restos volcánicos sin transformarse. El suelo en general sin importar el tipo o actividad humana que se realice presenta metales pesados en su composición, cuya concentración puede ser o no contaminante y subsecuentemente producir daños a la salud de los seres humanos y el deterioro del medio ambiente (Sánchez, 2016).

2.1.1. Cedal Aluminio. Planta Latacunga

La empresa Cedal Aluminio se especializa en la producción y comercialización de extrusiones en aluminio, generando productos de sistemas arquitectónicos, perfiles de aluminio, paneles compuestos, vidrio, accesorios para vidrio templado y puertas automáticas. El proceso de producción en la planta de Latacunga se basa en la fundición industrial para lo

cual cuenta con: un horno de fundición de doble cámara (operación continua), dos líneas de extrusión, una línea de anodizado, una línea de pintura electrostática horizontal y una planta de tratamiento de fluentes líquidos, además de un laboratorio propio encargado de los análisis de control de calidad que aprueban la comercialización de los productos finales (Cedal, 2016).

2.1.2. Molinos Poulter S.A.

La empresa Molinos Poulter S.A. encargada de la elaboración de dos productos específicos que son la harina Poulter y Maizabrosa. Dentro del proceso de elaboración de los dos tipos de harina se encuentra la desgerminación, cocinado, molienda, entre otros, para lo cual la planta de producción cuenta con dos molinos, uno de maíz y uno de trigo, al igual que un laboratorio propio para los análisis fisicoquímicos y organolépticos de control de calidad (Molinos Poulter, 2018).

2.1.3. Textiles Cotopaxi

Textiles Cotopaxi es una empresa dedicada a la elaboración y comercialización de diversos tipos de telas y tejidos. El proceso de producción comprende de tejedura, tinturado y acabados. Para cada etapa se emplean diversos químicos y tiempos de exposición o tratamientos específicos para un producto determinado. Entre sus instalaciones cuenta con bodegas de productos químicos, almacenamiento de efluentes, área de desechos, tratamientos de efluentes, entre otros (Textiles Cotopaxi, 2018).

2.2. Suelo

El suelo es un recurso natural no renovable, sobre el cual se desarrolla la vida vegetal y silvestre. Este recurso al ser limitado es vulnerable, de difícil y larga recuperación y necesita ser cuidado con el fin de garantizar las funciones que se llevan a cabo sobre el suelo, como el

cultivo de plantas, que se presenta como la principal vía de movimiento de metales pesados desde el suelo hacia los humanos (Mite, Carrillo, & Durando, 2010).

Al ser el suelo un factor primordial en la producción de materias primas para el ser humano se ha convertido en el ente de ayuda para el desarrollo de la humanidad, además de ser un componente específico del ambiente ya que se encarga del transporte de sustancias. Sin embargo, la contaminación del suelo no siempre ha sido tomada en cuenta y es responsabilidad de la generación actual cuidar y desarrollar procesos que ayuden con la conservación y mejora de este recurso (Silva & Correa, 2009).

2.2.1. Metales pesados en el suelo

La contaminación de los suelos se da principalmente por la presencia de metales pesados. Al ser varios los procesos que ocurren en el interior del suelo, principalmente adsorción e intercambio iónico, los metales pesados son transferidos a las plantas, agua y animales que posteriormente se convierten en alimentos para los seres humanos, causando diversos efectos en la salud (Sarmiento, 2013).

Todos los metales pesados al encontrarse dentro del cuerpo humano causan daños en distintos niveles de gravedad, por lo que las afecciones y límites de consumo o exposición dependen de cada metal pesado existente. Algunos de los metales pesados que afectan la salud pública y el medio ambiente son: cadmio, este metal pesado se encuentra en forma natural en suelos y rocas, puede movilizarse a través del suelo dependiendo de los factores del ambiente y se adhiere fuertemente a la materia orgánica, por lo que puede incorporarse en las plantas e ingresar a la cadena alimenticia, llegando al ser humano, causando graves irritaciones en el estómago, daños en los riñones y cáncer de pulmón si se inhala. Con una exposición de por vida al aire, agua, suelo o alimentos con una concentración de hasta 0.005mg/L de cadmio no causará efectos adversos en la salud humana (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2016a); cobre, puede liberarse en el medio ambiente como resultado de actividades mineras, agrícolas y de manufactura en general, se adhiere a la materia orgánica, arcilla, tierra o arena, ingresando al cuerpo humano por medio de la ingesta de alimentos, agua e inhalación, puede causar daños en el sistema respiratorio, al

hígado, los riñones e incluso causar la muerte y tiene un nivel de aceptación no perjudicial de 900 $\mu\text{g}/\text{día}$ en el cuerpo humano (Agencia de Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades, 2011); níquel, su concentración en el suelo depende de la roca madre y un exceso de contenido se atribuye a las actividades industriales o el uso de pesticidas en la zona, el daño más común causado en la salud humana es la alergia, en casos de extremada ingesta puede producir daños estomacales, efectos adversos en la sangre y el riñón, en caso de inhalación extrema cáncer de riñón y tiene un límite de consumo recomendable de 0.1 mg/L de agua (Agencia de Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades, 2014); plomo, se encuentra en el suelo como residuo de la actividad minera o forma parte de la roca madre, llega al cuerpo humano por ingesta, inhalación y contacto con la piel, puede afectar a casi todos los órganos y sistemas del cuerpo humano, siendo los daños principales en el sistema nervioso, los riñones y el sistema reproductivo y tiene un límite aceptable en alimentos y agua de 15 $\mu\text{g}/\text{L}$ de agua (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2016b).

En Ecuador el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio de Ambiente, Libro VI, Anexo II, perteneciente a la “Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados” es la que determina o establece los criterios de calidad del suelo y remediación para suelos contaminados, al igual que las normas de aplicación general para los distintos usos de suelo y evaluación de la capacidad agrícola en suelos de este tipo (Presidencia de la Republica del Ecuador, 2017). Esta norma tiene por objetivo el proteger la integridad de las personas, ecosistemas y ambiente en general en lo que respecta al recurso ambiental del suelo. A pesar de que existen normas que regulan la calidad del suelo, agua y el aire, el país no posee un control estricto ni sanciones severas para la contaminación o daños generados a estos recursos y tampoco existe un reglamento o ley que establezca los límites máximos no perjudiciales de metales pesados en el cuerpo humano.

2.3. Análisis químicos aplicados al estudio de suelos

Diversos estudios químicos del suelo se han realizado para determinar la cantidad de metales y materia orgánica presentes en el suelo, entre ellas destaca la norma ISO/IEC 17025:2005, la norma IRAM 301:2005 basados en los métodos 29570 y 29571, y la norma

USEPA 3050B y 3052 las cuales establecen los requisitos generales para la competencia de laboratorios de ensayos y calibración para brindar una calidad de control y muestreo (Galí, Villanueva, Larrea, & Pomares, 2011).

Los análisis químicos del suelo pueden ser empleados para estudiar las distintas características que este posee debido a los compuestos que lo conforman. Dentro de estos estudios se encuentran análisis empíricos, de rutina, completos y científicos, los cuales buscan determinar la composición del suelo y su característica principal que lo diferencia del resto. Un análisis de rutina permite evaluar macronutrientes o características físicas que conforman el suelo, mientras que un análisis completo permite analizar parámetros de rutina incluyendo los micronutrientes y azufre perteneciente al suelo (Garrido, 1993). Estos análisis han sido empleados para evaluar y estimar el comportamiento de suelos agrícolas sin pretender algún tipo de investigación científica, sin embargo, los análisis químicos aplicados a suelos bajo normas y parámetros calificados permiten realizar investigaciones de carácter científico. Los principales estudios aplicados al análisis químico de suelos se encuentran en la Tabla 1.

Tabla 1
Análisis químicos elementales de suelos

Tipo de ensayo	Técnica
Recolección de muestras	Muestreo de campo
Preparación de muestras	Tamizado
Ph	Potenciométrico
Conductividad eléctrica	Potenciométrico
Textura	Hidrómetro de Bouyoucos / Gravímetro
Materia Orgánica	Óxido reducción / Espectrofotométrico
Nitrógeno Total	Semi micro-kjeldahl
Nitrógeno disponible	Cálculo
Fósforo	Método de Bray
Bases intercambiables (K, Ca, Mg, Na)	Espectrofotometría de absorción atómica
K y/o Na	Espectrofotometría de absorción atómica
Ca y/o Mg	Espectrofotometría de absorción atómica
CIC	Cálculo
Acidez y aluminio intercambiable	Volumetría
Boro	Azometino-h
Azufre	Turbidimetría / rayos x
Microelementos (Fe, Mn, Zn, Cu)	Espectrofotometría de absorción atómica
Fe o Mn o Zn o Cu	Espectrofotometría de absorción atómica

Fuente: (Fundación Cetabol, 2017).

2.3.1. Método USEPA 3050B y 3052

El método analítico para la determinación de metales en suelos se basa en la norma USEPA 3050B y USEPA 3052, las cuales se aplican para la determinación de metales como aluminio, arsénico, cobre, cobalto níquel, plata, mercurio, molibdeno, plomo, zinc, entre otros. Esta técnica se basa en la digestión de muestras con distintos compuestos ácidos que permitan separar los metales presentes en el suelo y lograr ser detectados por instrumentos de

medición (Mora, Jumbo, González, & Bermeo, 2016). Una de las técnicas recomendadas para la determinación de los metales es la espectrometría de absorción atómica de llama.

2.3.2. Espectroscopía de absorción atómica a la llama

La espectroscopía de absorción es una técnica perteneciente a la rama de la química analítica, permite la medición de la fracción de luz de una longitud de onda dada que pasa a través de una muestra (Skoog, Holler, & Nieman, 2001).

La espectrometría de absorción atómica es intrínsecamente un método de determinación unilateral. Su funcionamiento se basa en la ley de Lambert Beer, la que relaciona la absorción de la luz con el material que lo atraviesa. El proceso implica la alteración de los electrones de los átomos en el atomizador, donde mediante la absorción de una cantidad de energía, los electrones pueden trasladarse a orbitales superiores. La longitud de onda empleada es específica, por lo que cada longitud de onda pertenece a un solo átomo. La cantidad de energía expuesta en la llama del equipo es conocida por lo que la energía restante puede ser medida y generar una señal proporcional a la concentración del elemento químico que se mide (Rubinson & Rubinson, 2001).

La espectrometría de absorción atómica a la llama se refiere al uso de la llama como atomizador ya que también se puede usar un horno de grafito o plasma inductivamente acoplado. En un atomizador de llama, la disolución de la muestra es nebulizada mediante un flujo de gas oxidante mezclado con el gas combustible (Skoog et al., 2001).

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1. Ubicación

La ciudad de Latacunga se encuentra ubicada, geográficamente, en las coordenadas UTM 762,000 y 769,000 Este y 9,904,000 y 9,981,000 Norte, para el desarrollo del presente estudio se tomaron en cuenta tres zonas verdes de acceso público y dos zonas con influencia directa de dos tipos de industrias pertenecientes al centro de la ciudad además de una zona con influencia directa por una industria en la zona rural de la ciudad de Latacunga.

Entre los principales lugares de recolección que se pueden destacar dentro de la ciudad son: parques, lagunas y terrenos sin explotar, y fuera de la ciudad: planicies, bosques, montañas o páramos de libre acceso. En la Figura 1 se presenta el centro de la ciudad de Latacunga, además de los puntos de tomas de muestras en las zonas verdes de acceso público y las influenciadas por las empresas Cedal Aluminio y Molinos Poultier S.A. mientras que en la Figura 2 se observa el sector rural de la ciudad de Latacunga y los puntos de tomas de muestras influenciados por la empresa Textiles Cotopaxi. Las tres empresas mencionadas son las industrias que se tomaron en cuenta para el presente estudio.

Las zonas escogidas en la ciudad de Latacunga para la toma de muestras fueron las siguientes: Sector la Cocha, con una extensión considerable de áreas verdes y frondosos árboles forman un hábitat natural que además posee espacios destinados al esparcimiento familiar (Calderón & Guagchinga, 2015). Parque Náutico Ignacio Flores, con una extensión de aproximadamente 5 ha, alimentado por una vertiente de agua es la zona más amplia de recreación y espacios verdes que posee la ciudad. Orillas del Río Illuchi, atraviesa las diversas calles de la ciudad incluyendo la empresa Cedal Aluminio desembocando en el Río Cutuchi, siendo parte de la vertiente de agua natural del parque Náutico Ignacio Flores (Cevallos et al., 2014). Las orillas del Río Cutuchi, donde se encuentra ubicada la industria Molinos Poultier S.A y a la altura de la ubicación de la industria Cedal Aluminio. Orillas del Río Saquimala,

ubicado en el sector rural de la ciudad de Latacunga, en la parroquia Joseguango Bajo, sus vertientes pasan junto a la empresa Textiles Cotopaxi atravesando toda la parroquia.

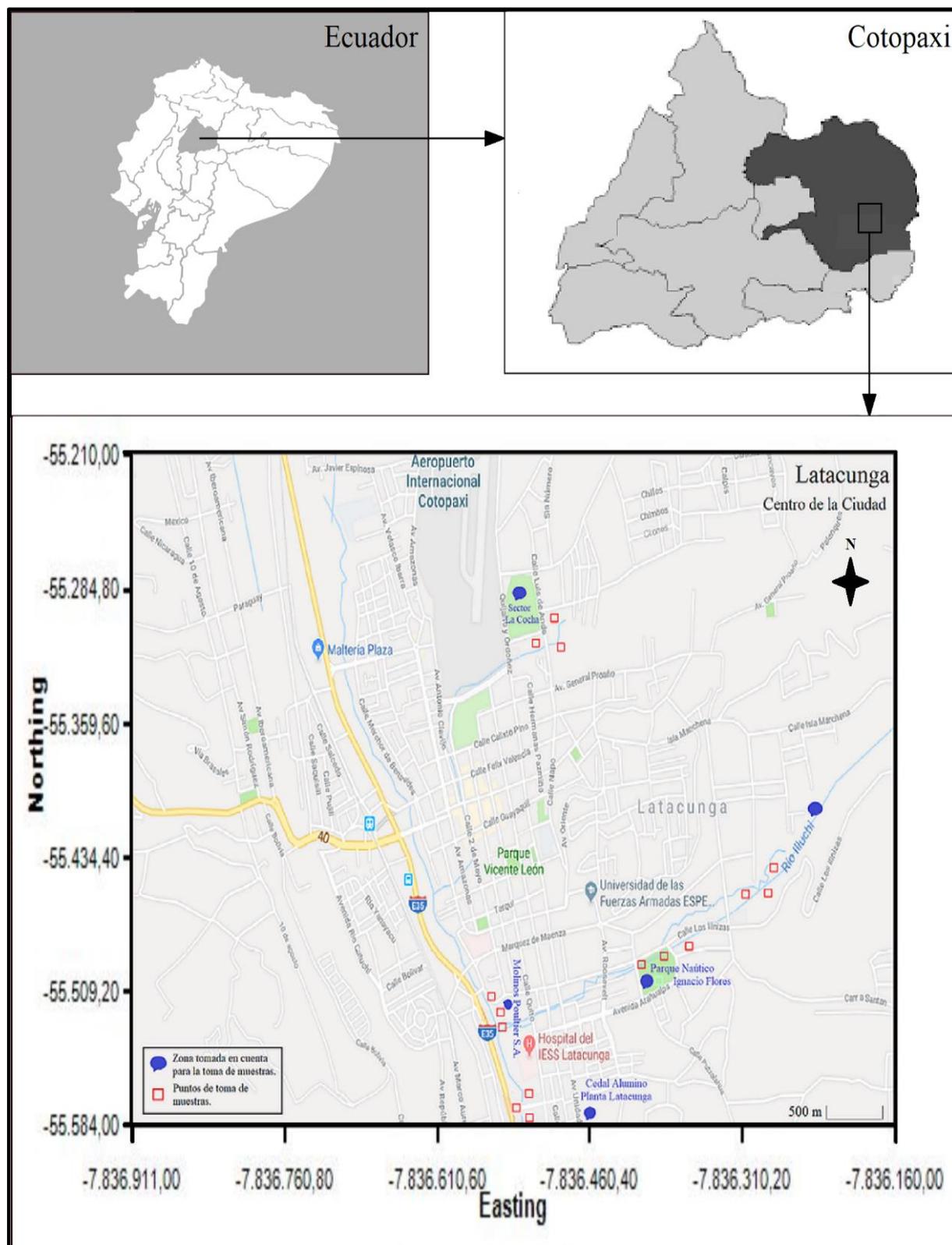


Figura 1. Centro de la Ciudad de Latacunga. Datos de mapas base © Google 2019

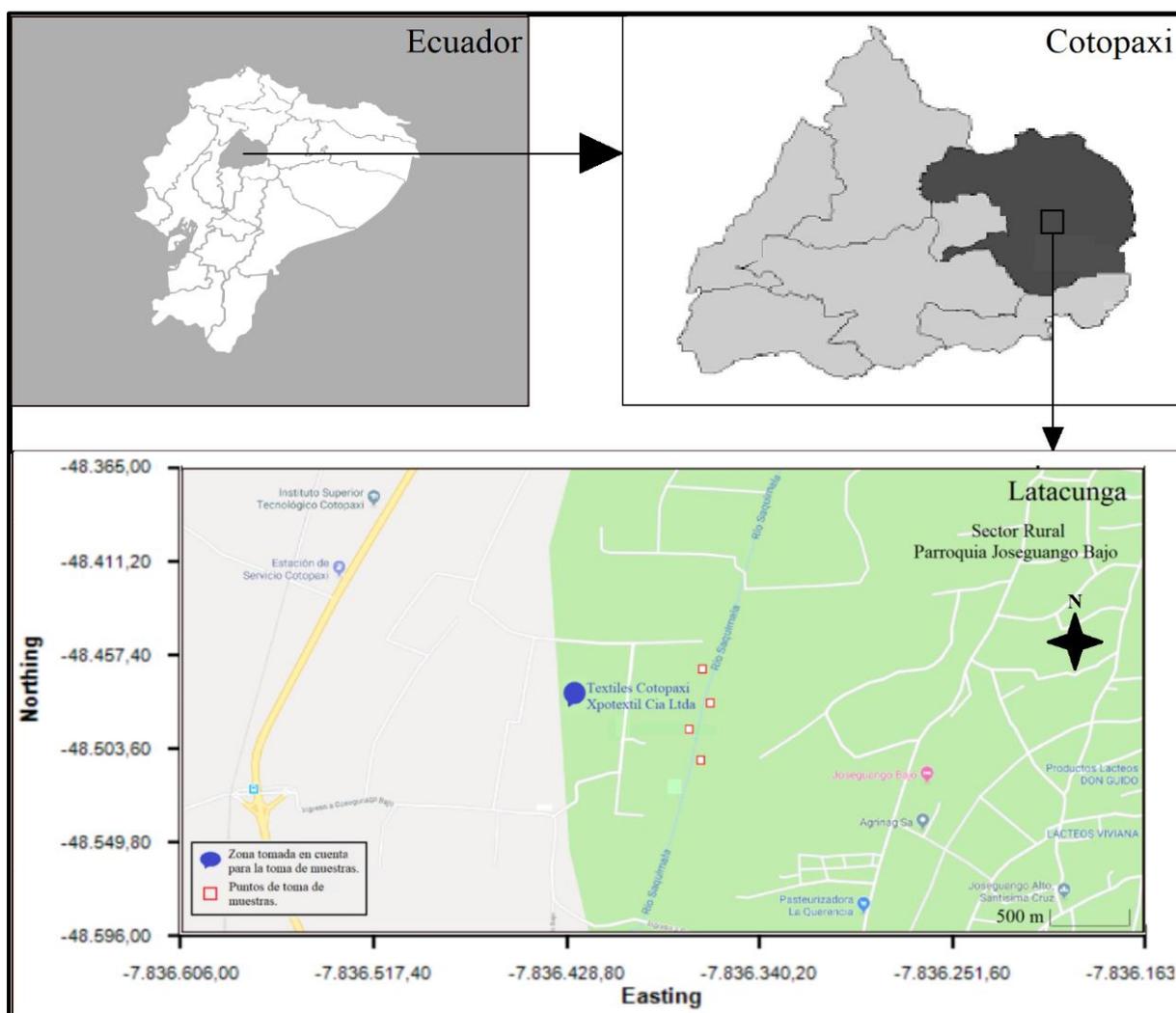


Figura 2. Sector Rural de la Ciudad de Latacunga. Parroquia Joseguango Bajo. Datos de mapas base © Google 2019

Diferenciar cada punto de recolección permitió contrastar los resultados de todas las muestras obtenidas. Para ello se tomaron muestras de 19 localidades, las cuales están distribuidas en la zona centro y rural de la ciudad de Latacunga, estableciendo 6 áreas de recolección, 3 de ellas poseen influencia directa del sector industrial y 3 zonas de recreación y acceso público. Cada muestra fue sometida a un tamiz de estudio de $38\ \mu\text{m}$ y 6 muestras aleatorias, una muestra por cada área de recolección, fue sometida a un tamiz de $1,000\ \mu\text{m}$ dando un total de 25 muestras estudiadas para la determinación química de su composición.

Para cada punto establecido en el mapa perteneciente a la Figura 1 y la Figura 2, durante el proceso de análisis, se procedió a tomar y etiquetar las muestras como se detalla en la Tabla 2, la cual contiene información acerca de la ubicación, número de muestras tomadas y

etiquetado de las mismas. Esta representación se mantuvo a lo largo del estudio para mostrar los diferentes tipos de suelos y sus submuestras. Para el primer nombre de muestra, la etiqueta respectiva fue MC1-1 que simboliza muestra (M), el lugar (zona centro, C), número de muestra (muestra 1) y el tamiz utilizado (1 perteneciente a los 38 μm y 2 perteneciente a 1,000 μm).

Tabla 2

Nomenclatura para la recolección de muestras de distintos puntos de la Ciudad de Latacunga

Etiqueta	Sector	Ubicación	Número de muestras	Observación
MC1- #	Centro	Sector La Cocha	3	Zona verde de acceso público
MC2- #	Centro	Parque Náutico Ignacio Flores	3	Zona verde de acceso público
MC3- #	Centro	Orillas Río Illuchi	3	Zona verde de acceso público
MC4- #	Centro	Orillas Río Cutuchi. Molinos Poultier S.A.	3	Zona con influencia industrial
MC5- #	Centro	Orillas Río Cutuchi. Altura de Cedal Aluminio	3	Zona con influencia industrial
MR6- #	Rural	Orillas Río Saquimala. Textiles Cotopaxi	4	Zona con influencia industrial

3.2. Muestreo del suelo

En el desarrollo de recolección de muestras se utilizó un equipo apropiado para la no contaminación de la muestra y la correcta extracción de la misma. Para ello, la alícuota se tomó con materiales apropiados de campo que incluyen: estacas, flexómetros, palas y recipientes de plástico de polietileno cubiertos de tela que impidan conductividad u oxidación de los metales presentes en el suelo. En cada punto se tomó la cantidad aproximada de 200 g de muestra, recogiénola a una profundidad entre 10 cm y 20 cm, retirando previamente los restos vegetales.

La toma de muestra es un proceso previo muy importante ya que las muestras deben establecerse en el laboratorio sin ningún tipo de contaminación ya que en el traslado la

muestra puede ser contaminada por residuos en el ambiente o por otras muestras que desprenden polvos sobre su superficie. Es de gran importancia el recoger y trasladar la muestra de una manera segura y sin pérdida.

3.3. Preparación del suelo

Una vez recolectadas las muestras y almacenadas con su respectiva rotulación, se procedió a secar en el laboratorio a temperatura ambiente durante un periodo de 96 horas para luego ser secadas en una estufa a 60 °C durante 72 horas (Marín, Gonzalez, Lapo, Molina, & Lemus, 2016). De esta forma se garantizó el secado completo de las muestras y posteriormente se aplicaron los procesos establecidos en la norma USEPA, la que permitió determinar los distintos tipos de metales presentes en las muestras de suelo a estudiar, siendo esta metodología la base para la elaboración del proyecto (USEPA United States Environmental Protection Agency, 1996).

3.4. Análisis químico de metales pesados

Para el análisis de cobre, níquel, plomo y cadmio en cada una de las muestras recolectadas se empleó la norma USEPA 3050B, USEPA 3052 (USEPA United States Environmental Protection Agency, 1996) y espectroscopía de absorción atómica a la llama.

El método USEPA 3050B no es una técnica de digestión completa debido a que no disuelve una gran parte de la solución de metales presentes en las cadenas de silicatos. Sin embargo, el método USEPA 3052 permite una digestión completa la cual asegura una separación completa y permite determinar los metales presentes en la muestra.

El método analítico utilizado en el presente proyecto se basa el método USEPA 3050B y USEPA 3052. El primer paso del procedimiento es la digestión, para lo cual se debió homogenizar, pulverizar y tamizar la muestra. Se procede a pesar una alícuota de la muestra y añadir HNO₃, HCl, HF y H₃BO₃ concentrado. Bajo condiciones de operación en un equipo de Microondas de digestión (ETHOS ONE) se dejó actuar los ácidos agregados para

posteriormente obtener una solución que se diluyó con agua destilada. Finalmente la solución obtenida es la que se utilizó para el análisis con Espectroscopía de absorción atómica a la llama (USEPA United States Environmental Protection Agency, 1996). Los materiales, reactivos y procedimiento detallado del método analítico basado en el método USEPA 3050B y USEPA 3052 se encuentran descritos en el Anexo 1.

La muestra preparada se analizó en un espectrofotómetro de absorción atómica con llama Perkin Elmer modelo Analyst 300. La longitud de onda fue específica para cada elemento. Para el cadmio la longitud de onda fue de 229 nm, para el níquel de 232 nm, para el plomo 217 nm y para el cobre de 510 nm. La corrección de radiación de fondo se realizó con una lámpara de deuterio. Para la minimización de interferencias se empleó EDTA (ácido etilendiaminotetraacético) 0.1 mol/L (Gallegos, Vega, & Noriega, 2012). El tipo de llama utilizada fue de una mezcla oxidante – combustible de aire – acetileno , siendo la más utilizada y óptima para llevar los átomos a su estado fundamental (Skoog et al., 2001).

3.5. Análisis estadístico

Una vez obtenido los datos de concentración de los metales pesados en las muestras de suelo, fueron procesados con un programa estadístico. Se obtuvieron datos de media, varianza y desviación estándar. Además, se aplicó un diseño de bloques completos aleatorizados, los datos fueron ordenados como se muestra en la Tabla 3 para cada metal analizado y respectivo análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de confianza del 95% ($\alpha=0.05$) y la aplicación de la prueba *t* pareada.

Como control de calidad del total de 25 muestras obtenidas, se realizaron réplicas en el 10% de dichas muestras. Para llevar a cabo el proceso de elección de muestras a ser replicadas se analizaron muestras que cubran el rango de concentraciones al igual que los dos tamaños de partículas y se escogieron los valores más altos y bajos del rango. De esta manera se comprobó la precisión del estudio.

La relación entre la concentración de cada metal pesado con las muestras de suelo obtenidas, la relación de la concentración de cada metal pesado con el tamaño de partícula

analizada y la relación entre las concentraciones obtenidas para cada tamiz utilizado se representan mediante gráficos de dispersión en el capítulo de resultados y discusión.

Tabla 3

Diseño de bloques completos aleatorizados para la concentración del metal pesado SN en las muestras de suelo obtenidas en la Ciudad de Latacunga

Muestra de Suelo	Tamiz	
	38 μm	1,000 μm
MC1- ##		
MC2- ##		
MC3- ##		
MC4- ##		
MC5- ##		
MR6- ##		

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis de las muestras de suelo

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación se consideraron dos elementos fundamentales: las muestras de suelos y la información establecida en las Normas de regulación ambiental de la República del Ecuador (Presidencia de la Republica del Ecuador, 2017). Las muestras de suelos se obtuvieron tanto del sector urbano como de sector rural de la ciudad de Latacunga. Se consideraron 19 localidades de toma de muestras, 15 en el sector urbano y 4 en el sector rural. El análisis de concentración de cobre, níquel, plomo y cadmio para todas las muestras recolectadas se realizaron con un tamaño de partícula de 38 μm y 6 muestras aleatorias, una muestra por cada área de recolección, se realizaron con un tamaño de partícula de 1,000 μm .

Respecto a los límites máximos permisibles establecidos en la “Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados” donde se indican valores de 0.5 mg/Kg para el cadmio, 30 mg/Kg para el cobre, 20 mg/Kg para el níquel y 25 mg/Kg para el plomo (Presidencia de la Republica del Ecuador, 2017), se establece que existen 2 muestras que sobrepasan los valores máximos respecto al cobre, 14 con respecto al níquel, 3 con respecto al plomo y respecto a la concentración de cadmio está por debajo del valor mínimo de detección de 0.1 mg/Kg..

Se efectuó un análisis comparativo entre zonas, respecto a la concentración de metales, como se muestra en la Figura 3, para lo cual se agruparon los puntos de tomas de muestras. La zona 1 corresponde a las muestras del sector La Cocha (MC1), zona 2 corresponde al parque Náutico Ignacio Flores y las orillas del Río Illuchi (MC2 y MC3), zona 3 corresponde a las orillas del Río Cutuchi en Molinos Poulitier S.A. y Cedal Aluminio (MC4 y MC5), como se muestra en la Figura 3 y la zona 4 corresponde a las orillas del Río Saquimala en Textiles Cotopaxi del sector rural de la ciudad (MR6), indicado en la Figura 4.

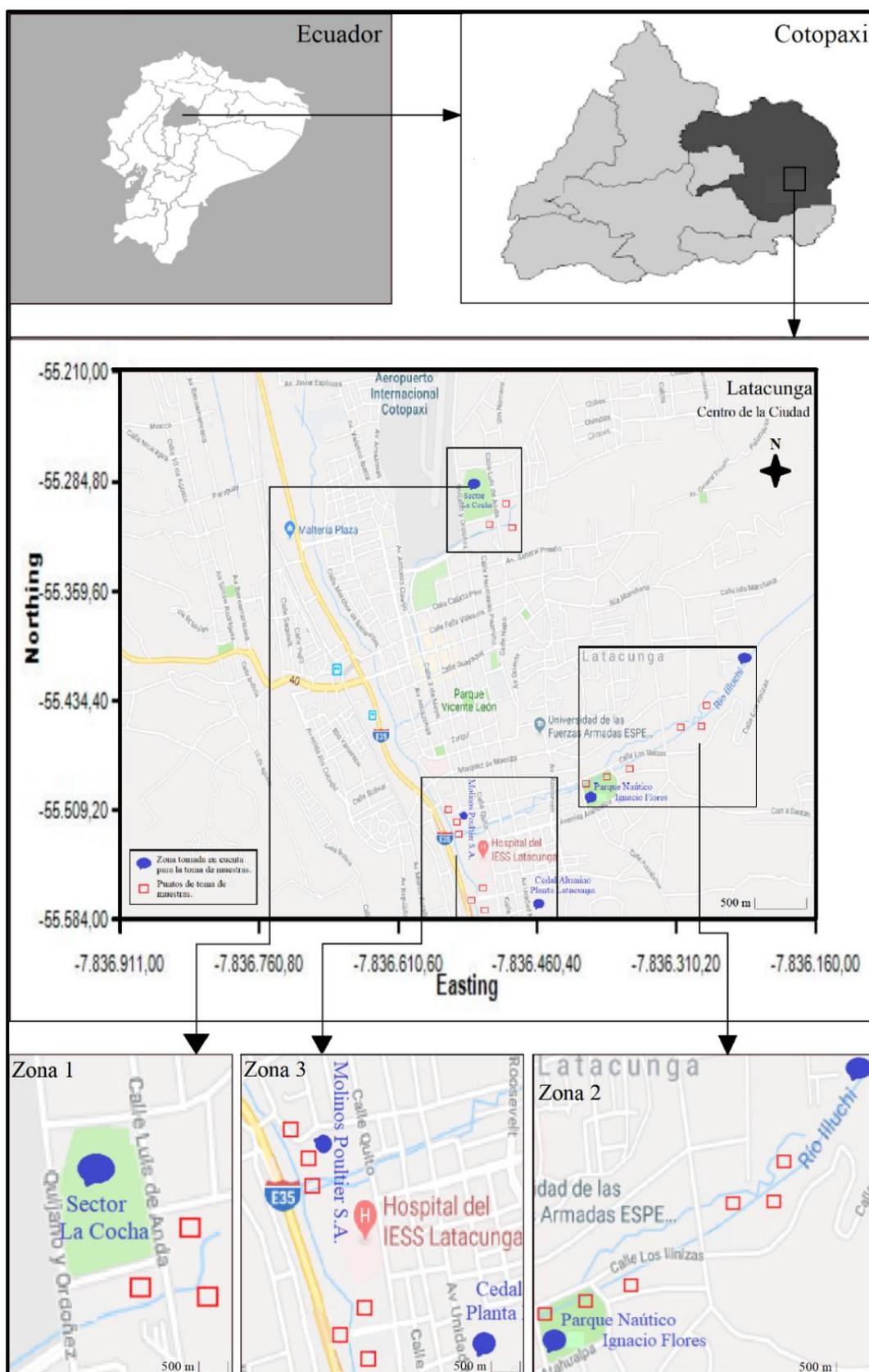


Figura 3. Definición de zonas de estudio en el Centro de la Ciudad de Latacunga. Datos de mapas base © Google 2019

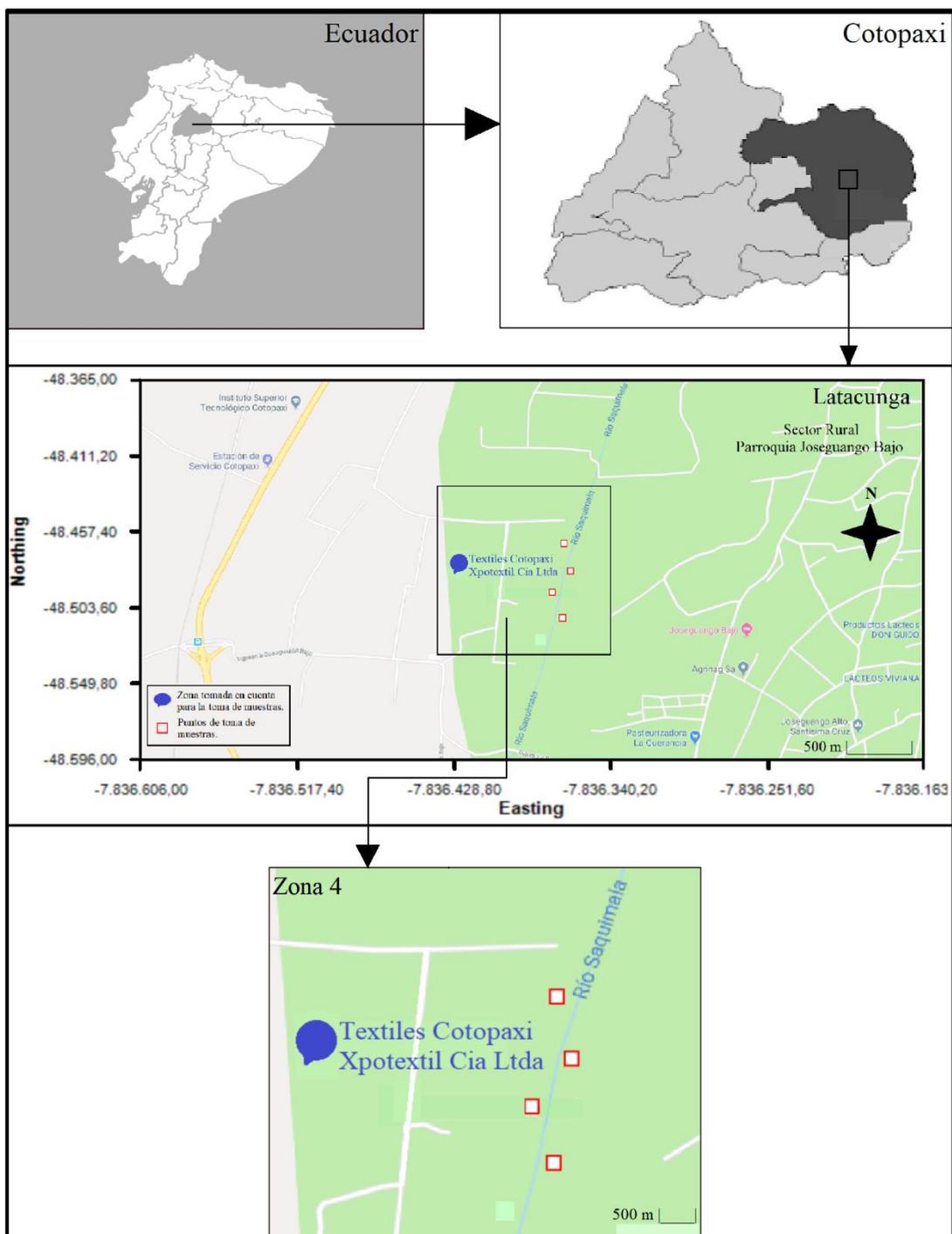


Figura 4. Definición de zona de estudio del Sector Rural de la Ciudad de Latacunga. Datos de mapas base © Google 2019

En la Figura 5 se observa que el valor de la media de la concentración del cobre es mayor en la zona 1 y zona 2, respecto a la media de la concentración del níquel es mayor en la zona 1, zona 3 y zona 4, mientras que la media del plomo es mayor en la zona 2.

Las estimaciones de concentración del cobre en la zona 1 fluctúan entre los valores de 29.6 mg/Kg y 39 mg/Kg, constituyéndose en la única zona que sobrepasa los límites máximos permisibles con respecto a la presencia de cobre (Presidencia de la Republica del Ecuador, 2017). En la zona 2 la estimación de los valores de concentración de cobre se encuentra entre los valores de 19.9 mg/Kg y 24.6 mg/Kg. A pesar de que esta zona no sobrepasa dichos límites posee una concentración alta con respecto a la zona 3 y la zona 4. Respecto al níquel se encontró que todas las zonas estudiadas sobrepasan los valores de concentración en referencia a los límites máximos establecidos para la presencia de níquel, sin embargo, las zonas que poseen mayor concentración de dicho metal son la zona 1, la zona 3 y la zona 4. Mientras que la concentración de plomo sobrepasa los límites máximos establecidos solo en la zona 2 y la concentración de cadmio se encuentra por debajo del valor mínimo de detección de 0.1 mg/Kg.

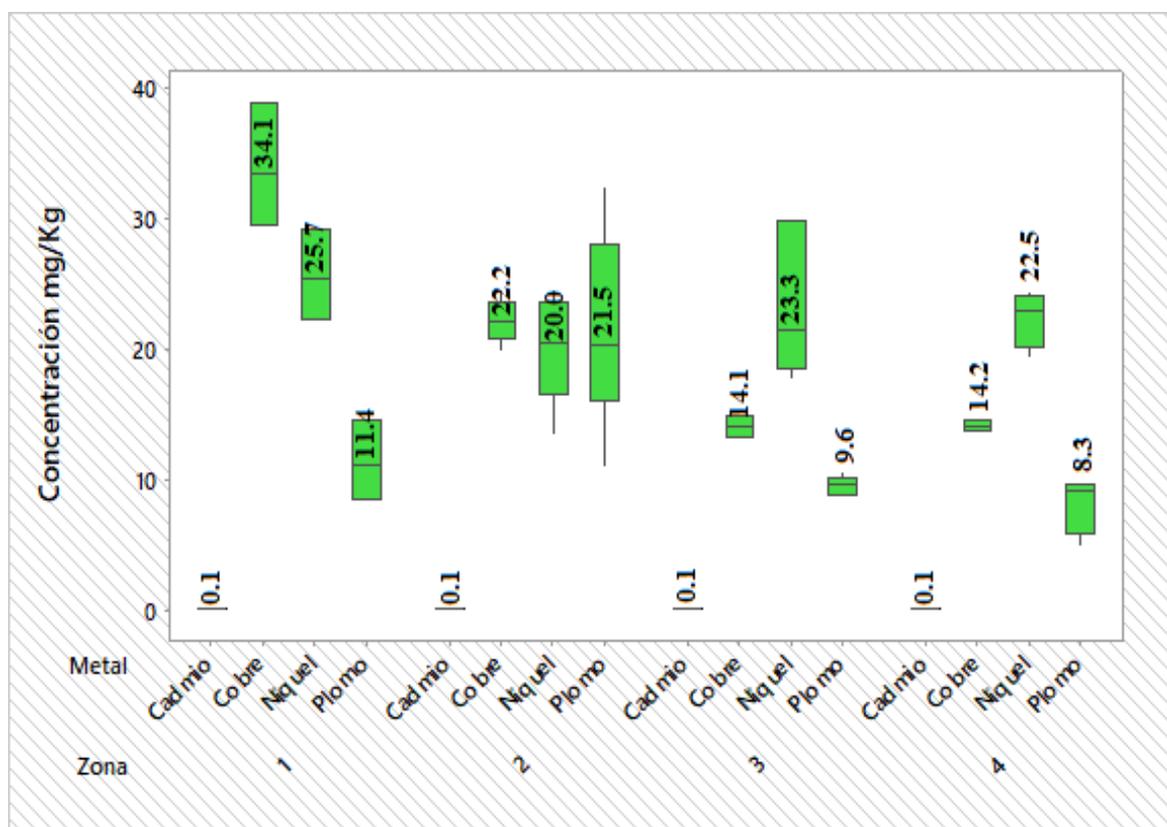


Figura 5. Media de concentración (mg/Kg) del cobre, níquel, plomo y cadmio respecto a las zonas muestreadas

Respecto al análisis de varianza aplicado a los valores de concentración del cobre, níquel y plomo para cada una de las zonas de estudio se obtuvo para la concentración de cobre un

valor F calculado de 78.44 y un Valor p de 0.000 menor al valor $\alpha=0.05$ (nivel de confianza del 95%), por lo que se concluye que la concentración de cobre es diferente en cada una de las zonas muestreadas. En el análisis de concentración de níquel se obtuvo un valor F calculado de 1.35 y un Valor p de 0.296 mayor al valor $\alpha=0.05$ (nivel de confianza del 95%), por lo que se concluye que no existe diferencia significativa entre las concentraciones de níquel en las zonas muestreadas. El análisis aplicado a los datos de concentración de plomo con un valor F calculado de 9.49 y un Valor p de 0.001 menor al valor $\alpha=0.05$ (nivel de confianza del 95%) concluye que existe diferencia significativa entre las concentraciones de plomo en las diferentes zonas muestreadas. Los datos detallados se encuentran en el Anexo 4.

En la Figura 6 correspondiente a la zona 1, las localidades MC1-1 y MC1-2 son las que sobrepasan los valores de concentración de cobre establecidos en la “Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados” (Presidencia de la Republica del Ecuador, 2017), por lo que la mayor concentración de cobre se encuentra en las localidades MC1-1 y MC1-2, ubicados a orillas del río Yanayacu, el mismo que divide la zona verde de acceso público del sector residencial. En este río desembocan los residuos de los lugares residenciales y posteriormente se une al río Cutuchi, río que atraviesa toda la ciudad. Toda la zona sobrepasa los límites permisibles de concentración de níquel mientras que la concentración de plomo es mayor en esta zona con respecto a la zona 3 y zona 4 pero dicha concentración no sobrepasa los límites establecidos.

En la Figura 7 se observa que en la zona 2 las localidades MC2-1, MC2-2 y MC2-3 poseen concentraciones de níquel que sobrepasan los valores de concentración establecidos en la “Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados” (Presidencia de la Republica del Ecuador, 2017), la mayor concentración de níquel se encuentra en la zona de acceso público en medio del sector residencial, mientras que las localidades MC3-2 y MC3-3 que poseen menor cantidad de níquel se encuentran en una zona agrícola poblada. Respecto a la presencia de plomo las localidades MC2-3 y MC3-2 son las que poseen valores de concentración que sobrepasan los límites máximos permisibles. Estas localidades se encuentran a orillas del río lluchi al finalizar el sector residencial y el comienzo de la zona verde de acceso público. La concentración de cobre en esta zona es mayor con respecto a la zona 3 y la zona 4, pero dicha concentración no sobrepasa los valores máximos establecidos.

La Figura 8 perteneciente a la zona 3, a excepción de las localidades MC4-2 y MC4-3, posee valores de concentración de níquel que sobrepasan los límites establecidos en la “Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados” (Presidencia de la Republica del Ecuador, 2017). Esta zona pertenece a las orillas del río Cutuchi. Las muestras fueron obtenidas a la altura de las desembocaduras de los efluentes de las empresas Molinos Poulitier S.A y Cedal Aluminio, y los desechos del sector residencial que se encuentra en dicha zona. Las concentraciones de cobre y plomo no sobrepasan ningún límite establecido y se encuentran en cantidades aproximadamente iguales a las concentraciones pertenecientes a la zona 4.

En la Figura 9 las localidades de toma de muestras de la zona 4 a excepción de la localidad MR6-4 perteneciente al sector rural de la ciudad de Latacunga, poseen valores de concentración de níquel que sobrepasan los límites establecidos en la “Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados” (Presidencia de la Republica del Ecuador, 2017), sin embargo la localidad MR6-4 con un valor de concentración de 19.4 mg/Kg se encuentra bastante cercano a dicho límite de 20 mg/Kg. Los valores de concentración del cobre y plomo no sobrepasan los límites máximos establecidos y sus concentraciones llegan hasta 14.7 mg/Kg y 9.8 mg/Kg respectivamente. Las muestras fueron tomadas de las orillas del río Saquimala, el mismo que divide el sector agrícola del sector industrial perteneciente a la empresa Textiles Cotopaxi y donde desembocan los efluentes de dicha empresa.

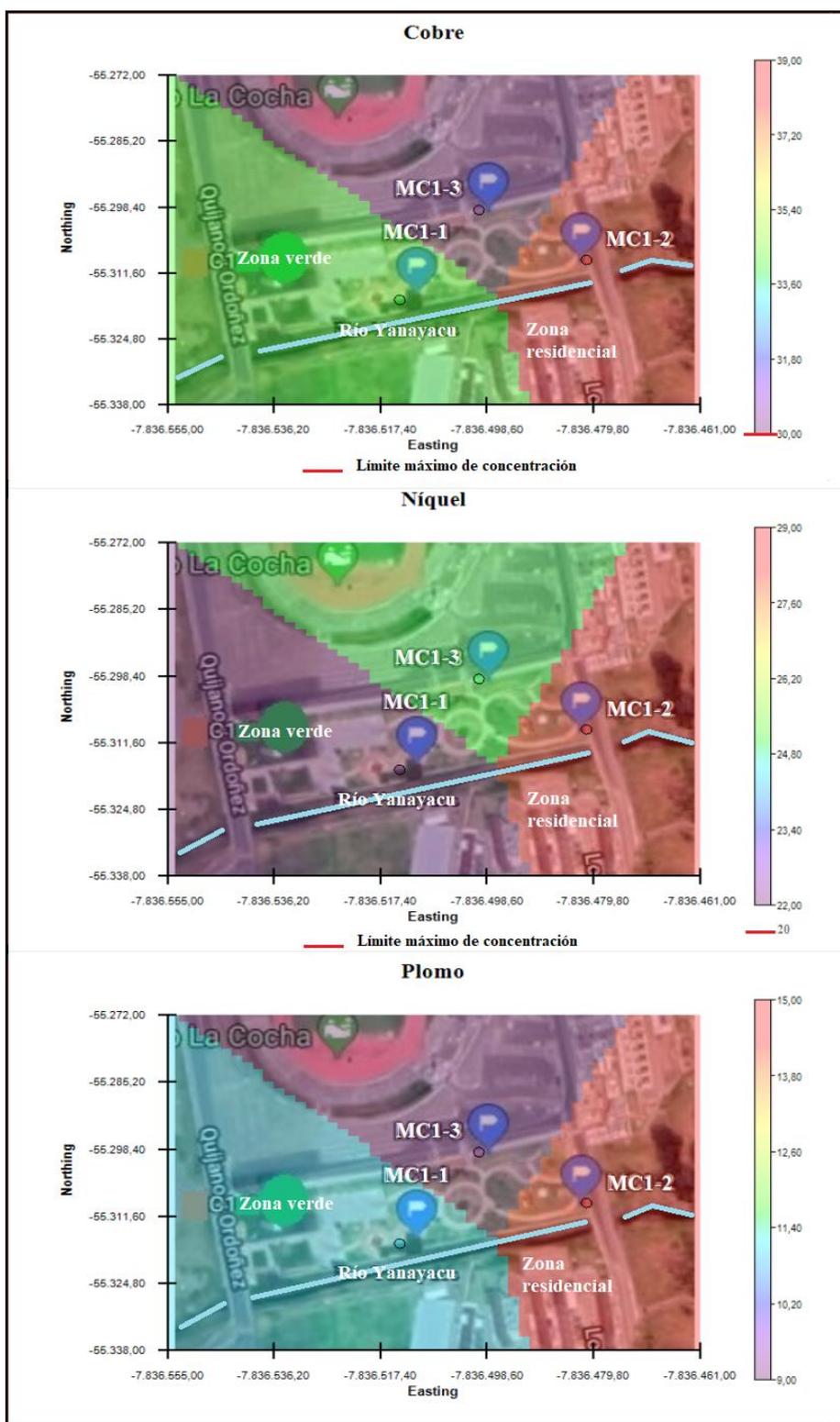


Figura 6. Estimación de la concentración del cobre, níquel y plomo entre los puntos muestrales de la zona 1

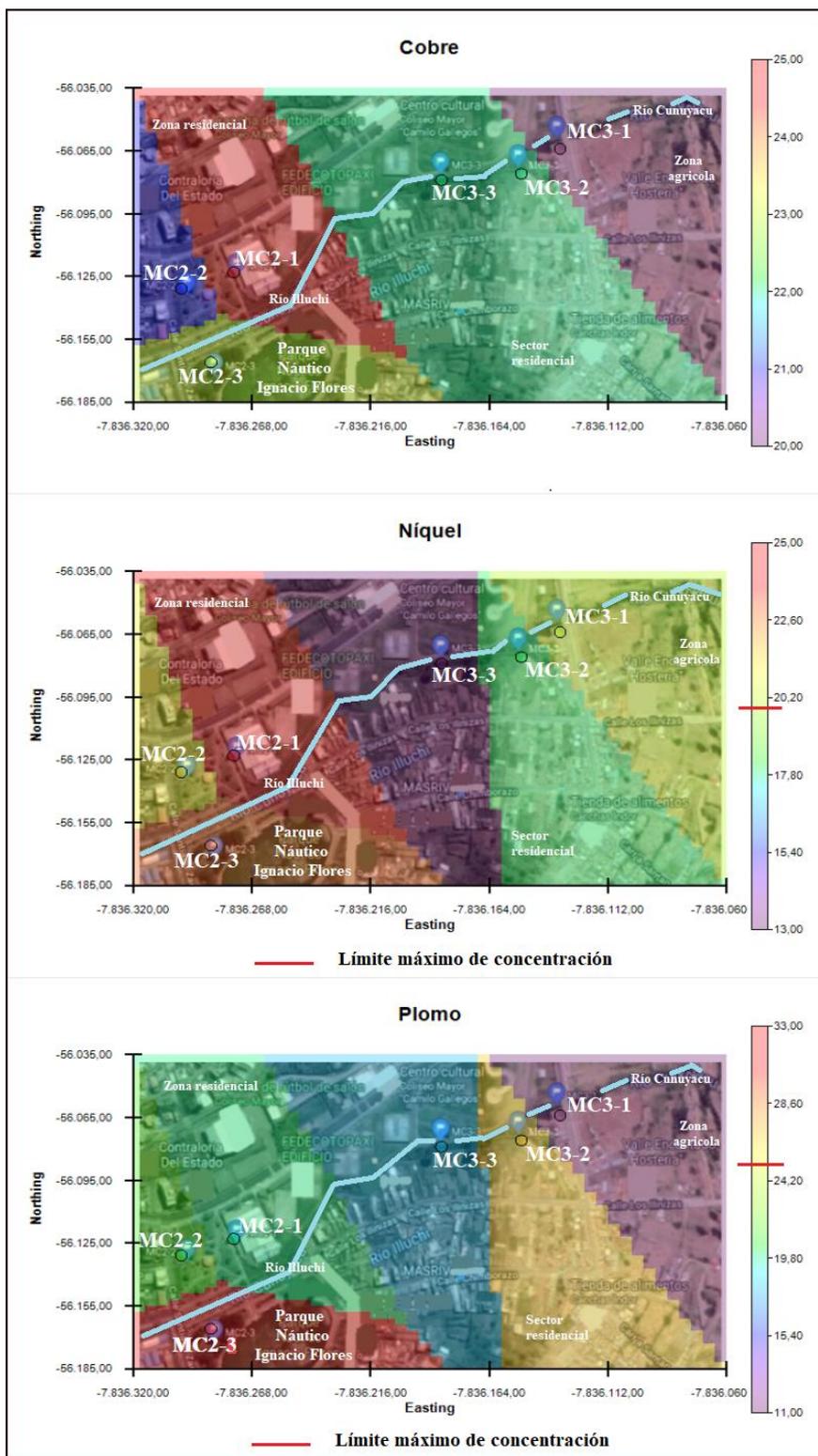


Figura 7. Estimación de la concentración del cobre, níquel y plomo entre los puntos muestrales de la zona 2

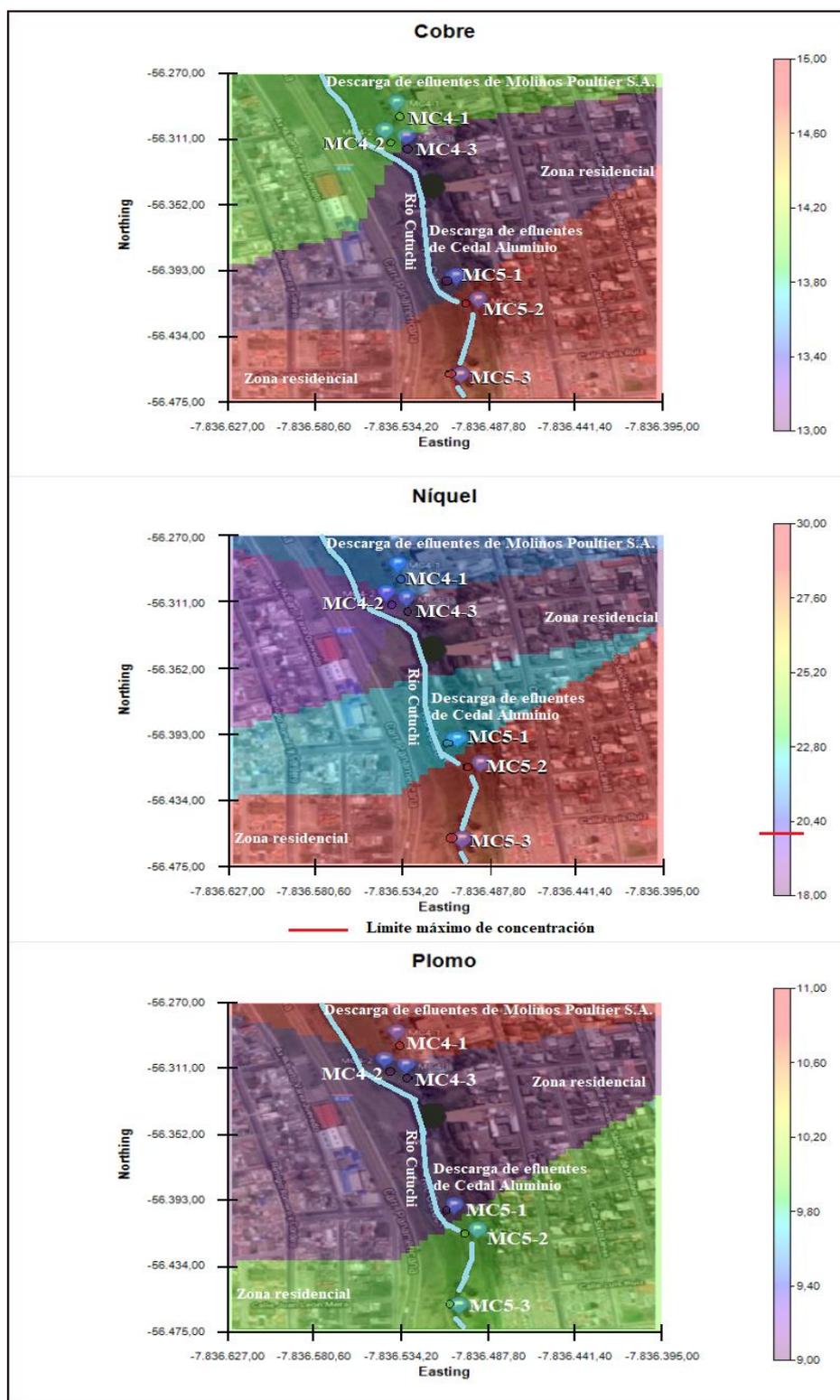


Figura 8. Estimación de la concentración del cobre, níquel y plomo entre los puntos muestrales de la zona 3

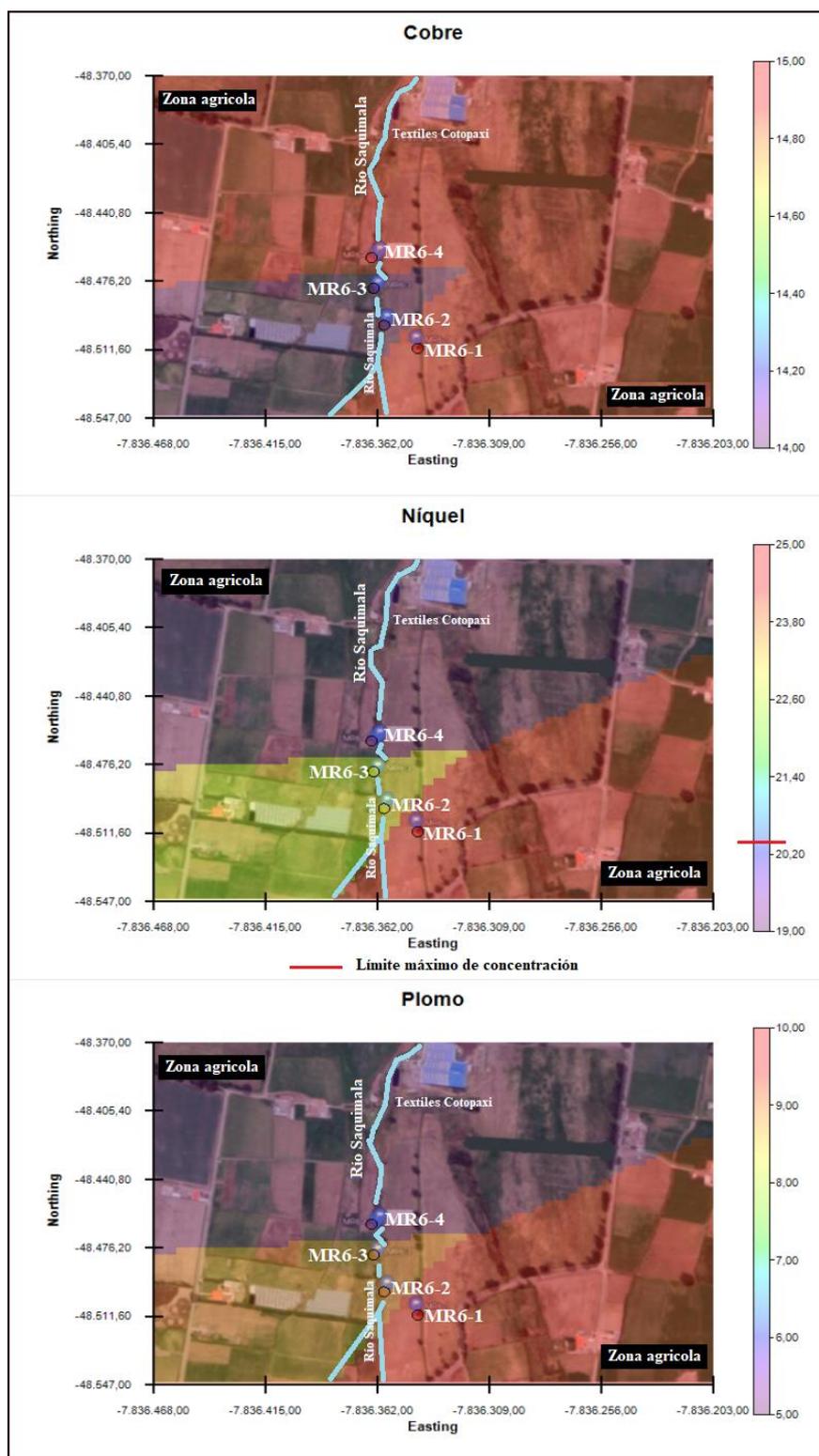


Figura 9. Estimación de la concentración del cobre, níquel y plomo entre los puntos muestrales de la zona 4

4.2. Cobre

Del total de muestras analizadas, las muestras MC1-1/1 y MC1-2/1 poseen valores de concentración en suelos que sobrepasan los límites máximos establecidos en la “Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados” (Presidencia de la Republica del Ecuador, 2017), por lo que la contaminación de suelos por presencia de cobre se registra en el 10.53% del total de muestras. Donde los valores de concentración del cobre fluctúan entre 39.0 mg/Kg y 13.2 mg/Kg para las muestras MC1-2/1 y MC5-1/1 como valor máximo y mínimo respectivamente, como se muestra en la Figura 10.

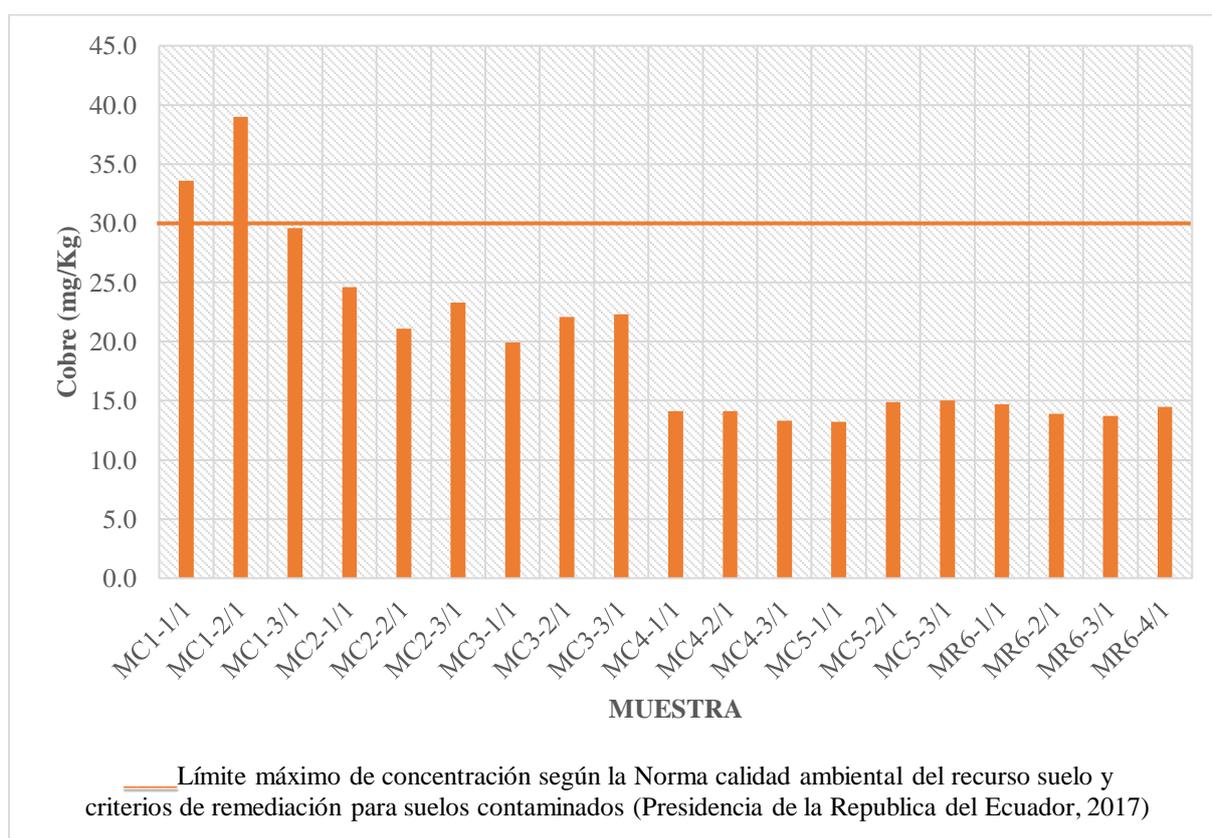


Figura 10. Comparación de los resultados de la concentración de cobre en los diferentes puntos de toma de muestras

En la Figura 11 se observa que la concentración de cobre en las partículas de mayor tamaño presenta una tendencia de menor concentración que en las partículas de menor tamaño. La concentración fue menor en un 66.67%, concentración igual en un 16.67% y

mayor concentración en un 16.67% del total de muestras analizadas para un tamaño de partícula de 1,000 μm .

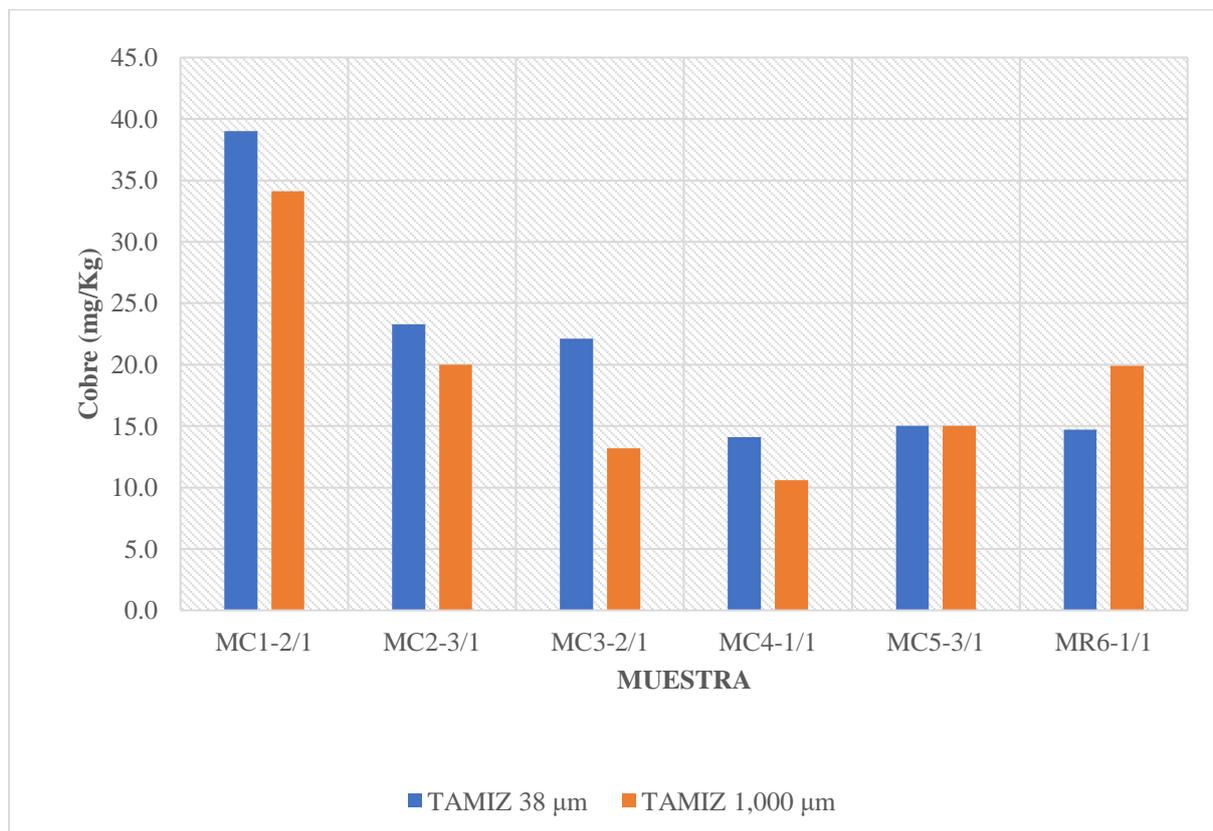


Figura 11. Comparación de los resultados de la concentración de cobre para los dos tamaños de partículas analizados.

El análisis de varianza de la concentración de cobre en los diferentes puntos de muestras del suelo se planteó con el fin de comprobar si la concentración de cobre es igual en todos los puntos muestrales. Al obtener un valor F calculado de 13.10 y un Valor p de 0.007 menor al valor $\alpha=0.05$ (nivel de confianza del 95%) para las muestras analizadas se concluye que las concentraciones de cobre de cada muestra obtenida son diferentes entre sí. Los valores detallados se encuentran en el Anexo 4.

En la prueba t pareada aplicada a los datos de concentración de cobre obtenidos del análisis de muestras de partículas de 38 μm y 1,000 μm se obtuvo un Valor p de 0.245 mayor al valor $\alpha=0.05$ (nivel de confianza del 95%), por lo que se concluye que no hay diferencia significativa entre los datos de concentración de cobre obtenidos de un mismo punto muestral

pero analizados con dos tamaños de partículas diferentes (38 μm y 1,000 μm). Los datos detallados se encuentran en el Anexo 5.

4.3. Níquel

En la Figura 12 se observa que el análisis de concentración de níquel determinó que el 68.42% de muestras de suelo poseen valores de concentración que sobrepasan los límites máximos establecidos en la “Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados” (Presidencia de la Republica del Ecuador, 2017), por lo que todas las zonas de estudio se encuentran contaminadas por la presencia de níquel; donde el valor más alto registrado es de 30 mg/Kg en el punto muestral MC5-3/1 y el valor mínimo es de 13.4 mg/Kg en el punto muestral MC3-3/1.

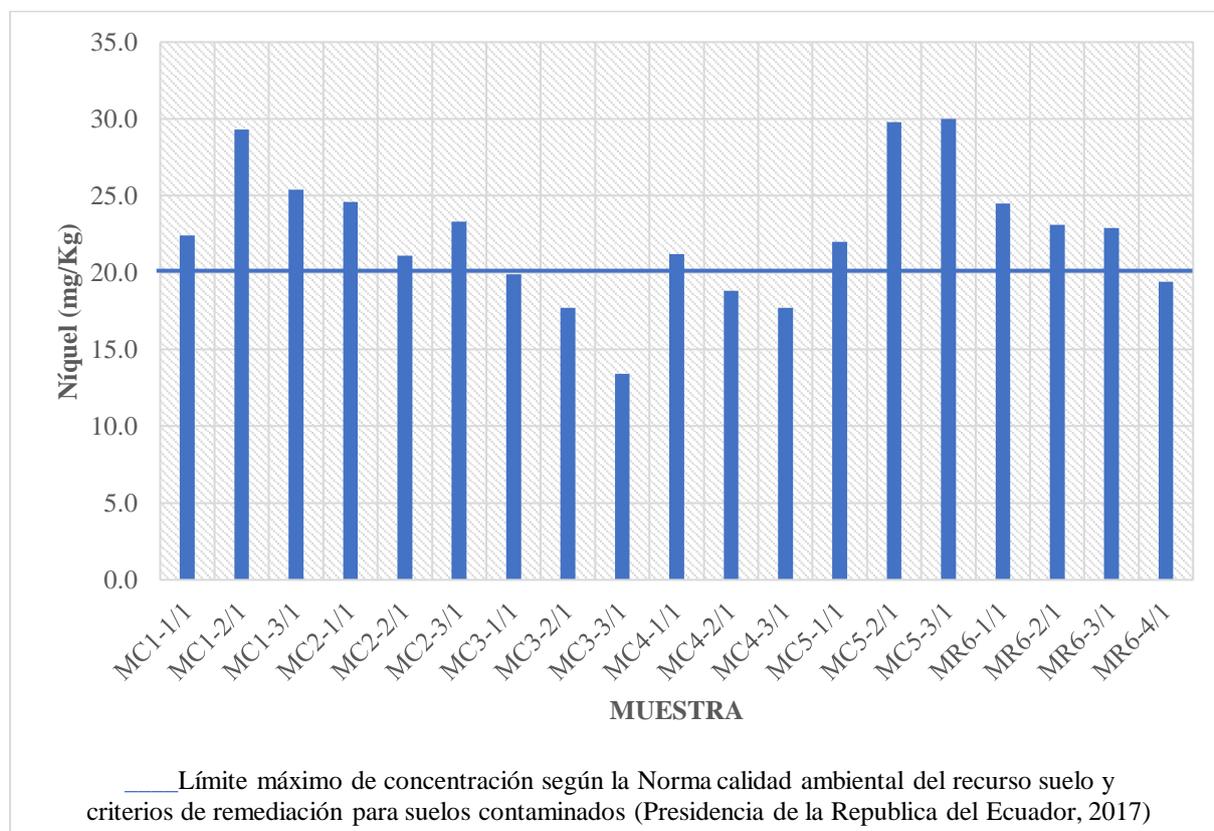


Figura 12. Comparación de los resultados de la concentración de níquel para los diferentes puntos de toma de muestras

En la Figura 13 se realiza la comparación de los resultados de concentración de níquel para cada tamaño de partícula, donde se observa que la concentración de dicho elemento tiende a ser mayor en las partículas de mayor tamaño. El 66.67% de muestras poseen mayor concentración de níquel en las partículas de 1,000 μm , el 16.67% de muestras poseen la misma concentración y el 16.67% poseen menor concentración en las partículas de 1,000 μm .

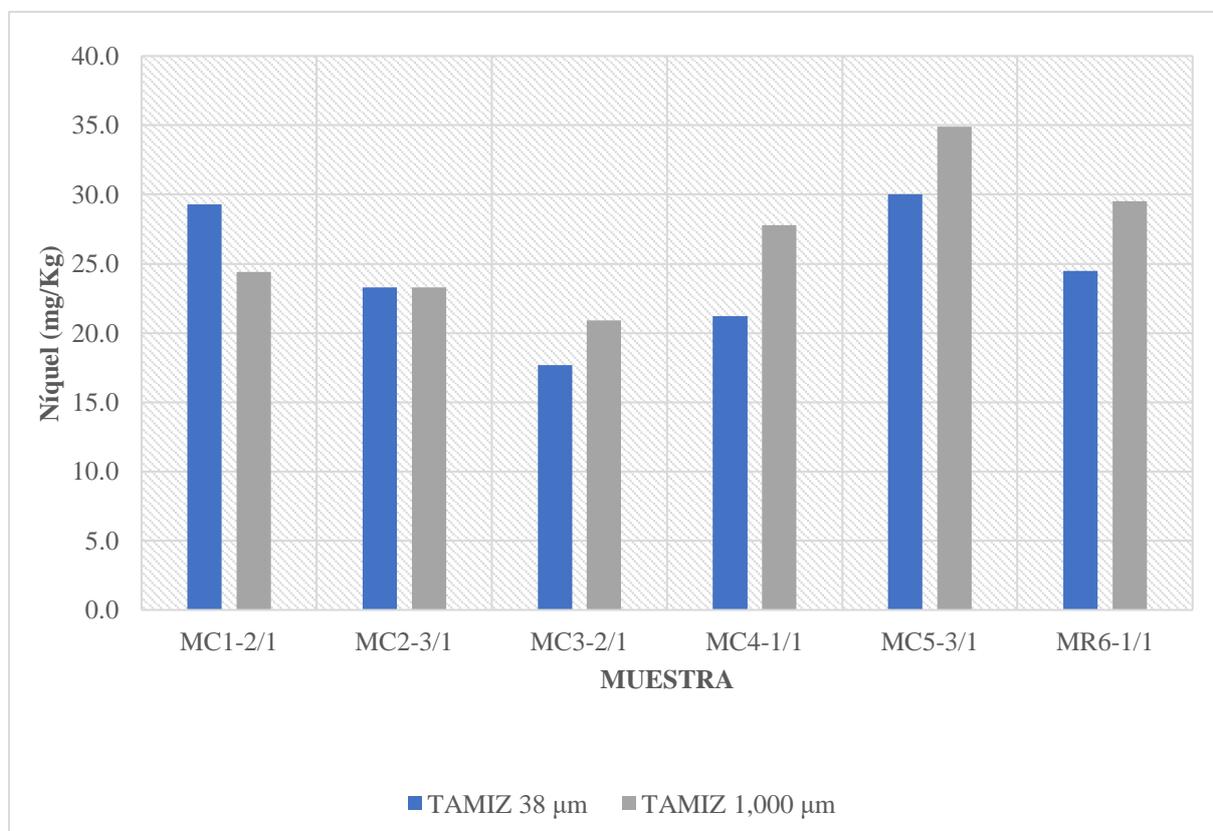


Figura 13. Comparación de los resultados de la concentración de níquel para los dos tamaños de partículas analizados

Respecto al análisis de varianza realizado para la concentración de níquel en las muestras de suelo se concluyó que las concentraciones de níquel de cada muestra analizada no poseen diferencia significativa entre sus valores, esto como resultado de un valor F calculado de 4.28 y un valor P de 0.068 mayor al valor $\alpha=0.05$ (nivel de confianza del 95%). Los valores detallados se encuentran en el Anexo 4.

Los datos de concentración de níquel obtenidos para los dos tamaños de partículas (38 μm y 1,000 μm) fueron analizados mediante la aplicación de la prueba t pareada, obteniendo un Valor p de 0.214 mayor al valor $\alpha=0.05$ (nivel de confianza del 95%), por lo que se

concluye que no hay diferencia significativa entre los datos de concentración de níquel obtenidos de un mismo punto muestral pero analizados en dos tamaños de partículas (38 μm y 1,000 μm). Los datos detallados se encuentran en el Anexo 5.

4.4. Plomo

En la Figura 14 se observa que la concentración de plomo en las muestras de suelo presentan un valor superior al límite máximo establecido en la “Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados” (Presidencia de la Republica del Ecuador, 2017) es del 10.53%, siendo los puntos muestrales MC2-3/1 y MC3-2/1 los contaminados por la presencia de níquel. El punto MR6-4/1 es el que presenta menor concentración de plomo con un valor de 4.9 mg/Kg. Los datos se encuentran graficados en la Figura 14.

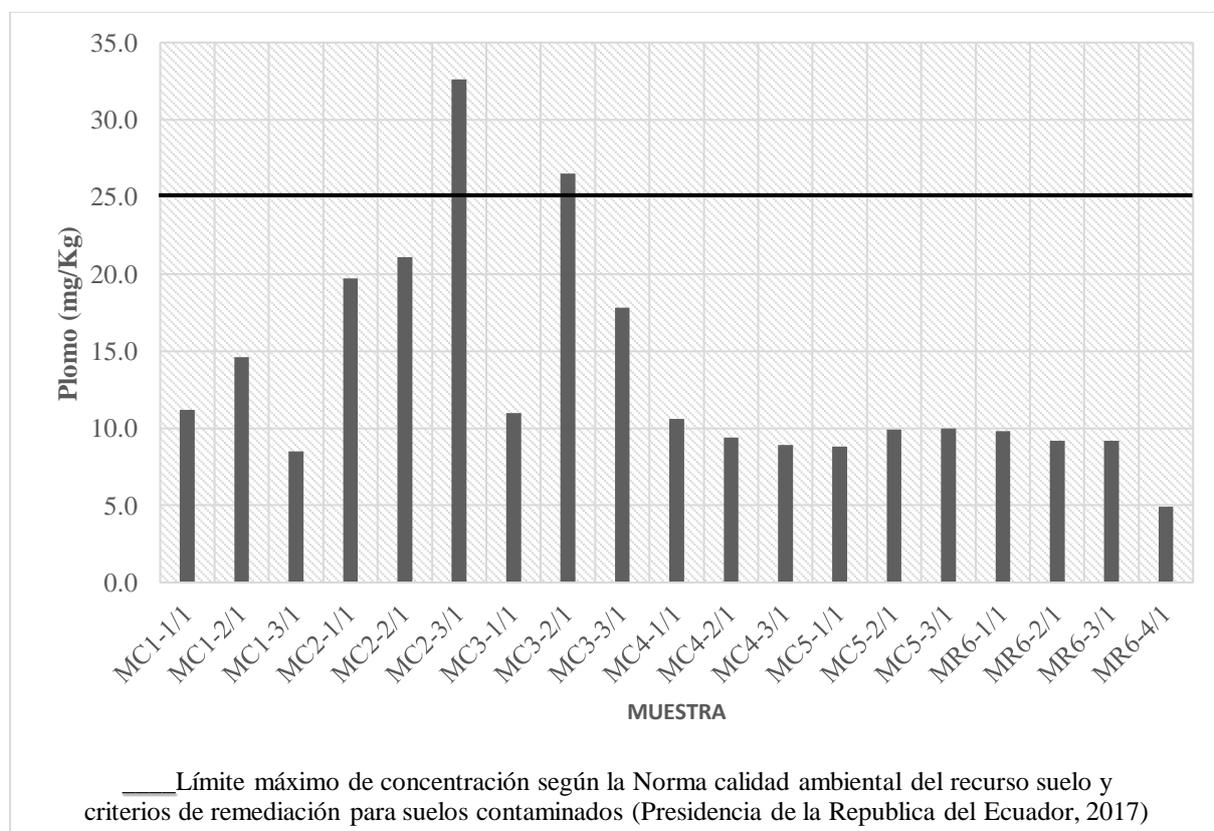


Figura 14. Comparación de los resultados de la concentración de plomo para los diferentes puntos de toma de muestras

Como se observa en la Figura 15, la concentración de plomo en las partículas de mayor tamaño (1,000 μm) tiende a ser mayor que en las partículas de menor tamaño (38 μm). El 83.33% presenta mayor concentración en las partículas de mayor tamaño y el 16.67 % presenta la misma concentración en los dos tamaños de partículas analizados.

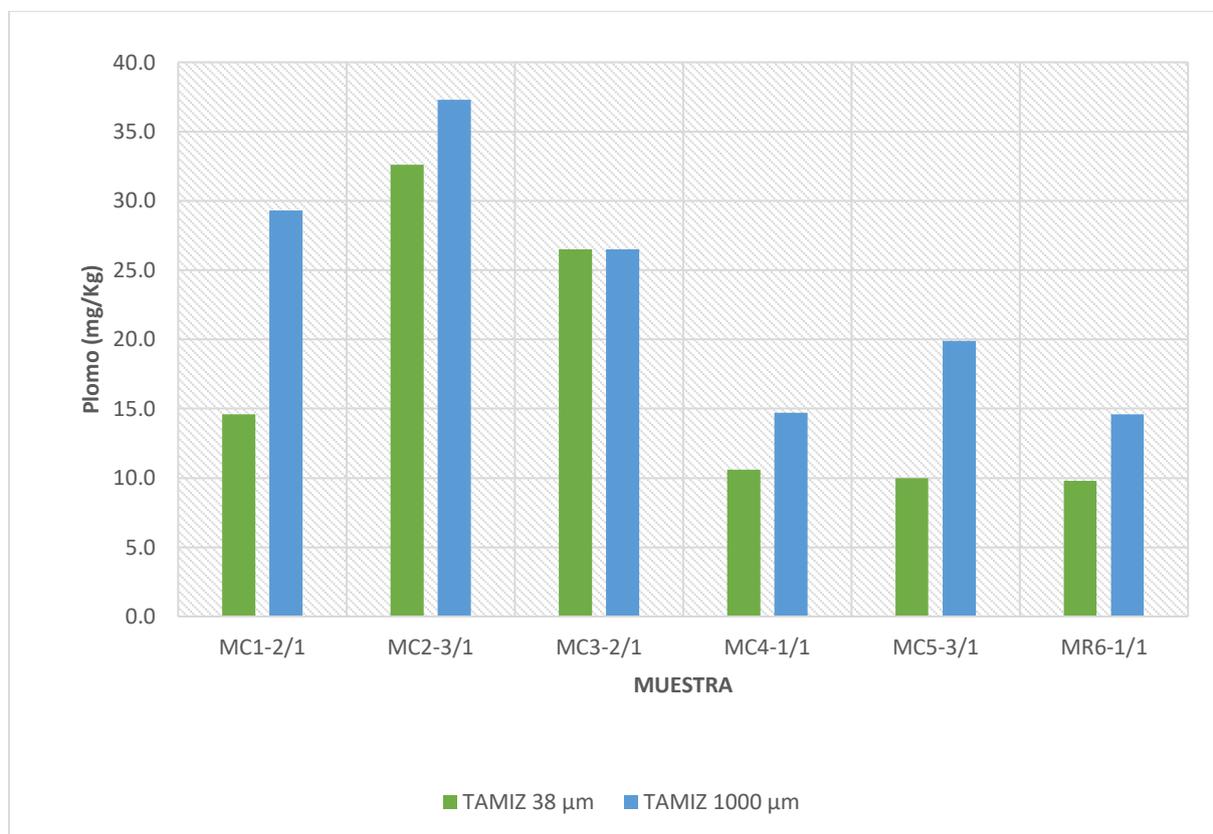


Figura 15. Comparación de los resultados de la concentración de plomo para los dos tamaños de partículas analizados

En lo concerniente a los resultados obtenidos como consecuencia de la aplicación del análisis de varianza se determinó que los índices de concentración de cada punto muestral son diferentes entre sí, debido a que el valor del F calculado de 12.29 y un Valor p de 0.008 es menor que $\alpha=0.05$ (nivel de confianza del 95%). Los datos detallados se encuentran en el Anexo 4.

La prueba t pareada aplicada a los datos de concentración del plomo obtenidos del análisis en muestras de partículas de 38 μm y 1,000 μm arrojó como resultado un Valor p de 0.029 menor al valor $\alpha=0.05$ (nivel de confianza del 95%), por lo que se concluye que hay diferencia significativa entre los datos de concentración del plomo obtenidos de un mismo

punto muestral pero analizados con dos tamaños de partículas diferentes (38 μm y 1,000 μm). Los datos detallados se encuentran en el Anexo 5.

Al obtener los valores de concentraciones de cada metal analizado se puede establecer que el metal que se encuentra en mayor concentración en las zonas estudiadas es el níquel, seguido por el cobre y el plomo, mientras que el cadmio en todas las muestras analizadas se encontró por debajo del valor mínimo de detección de 0.1 mg/Kg.

4.5. Comparación de concentraciones entre tamices utilizados

En la Figura 16 se muestran graficadas las localidades muestrales para la concentración de cobre en los dos tamaños de tamices utilizados. El modelo de regresión que mejor se ajusta a la tendencia que presenta dicha comparación de concentración en partículas de 38 μm frente a las partículas de 1,000 μm es la función polinómica de grado 3, con un coeficiente de regresión múltiple $R^2=0.8456$, por lo que el modelo es explicado en 84.56% de la variable real y muestra que las partículas de 38 μm tienden a poseer mayor concentración de cobre.

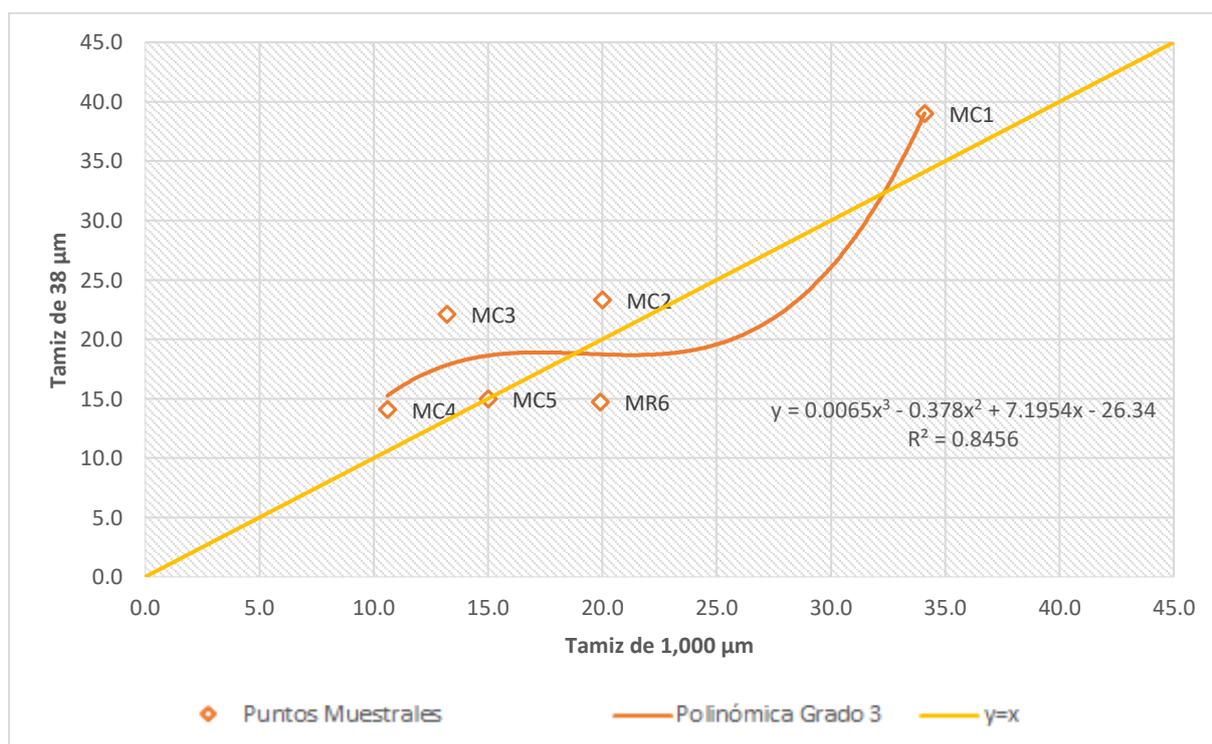


Figura 16. Comparación de los resultados de la concentración de cobre para los dos tamaños de partículas analizados

En la Figura 17 se encuentran graficados los puntos muestrales para la concentración de níquel en cada tamiz utilizado. Para los valores de concentraciones en los dos tamaños de partículas analizadas (38 μm y 1,000 μm) el modelo de regresión que mejor se ajusta es la función polinómica de grado 4 con un coeficiente de regresión múltiple $R^2=0.7961$. El modelo describe el 79.61% la variable real e indica que la mayor concentración de níquel se encuentra en las partículas de 1,000 μm .

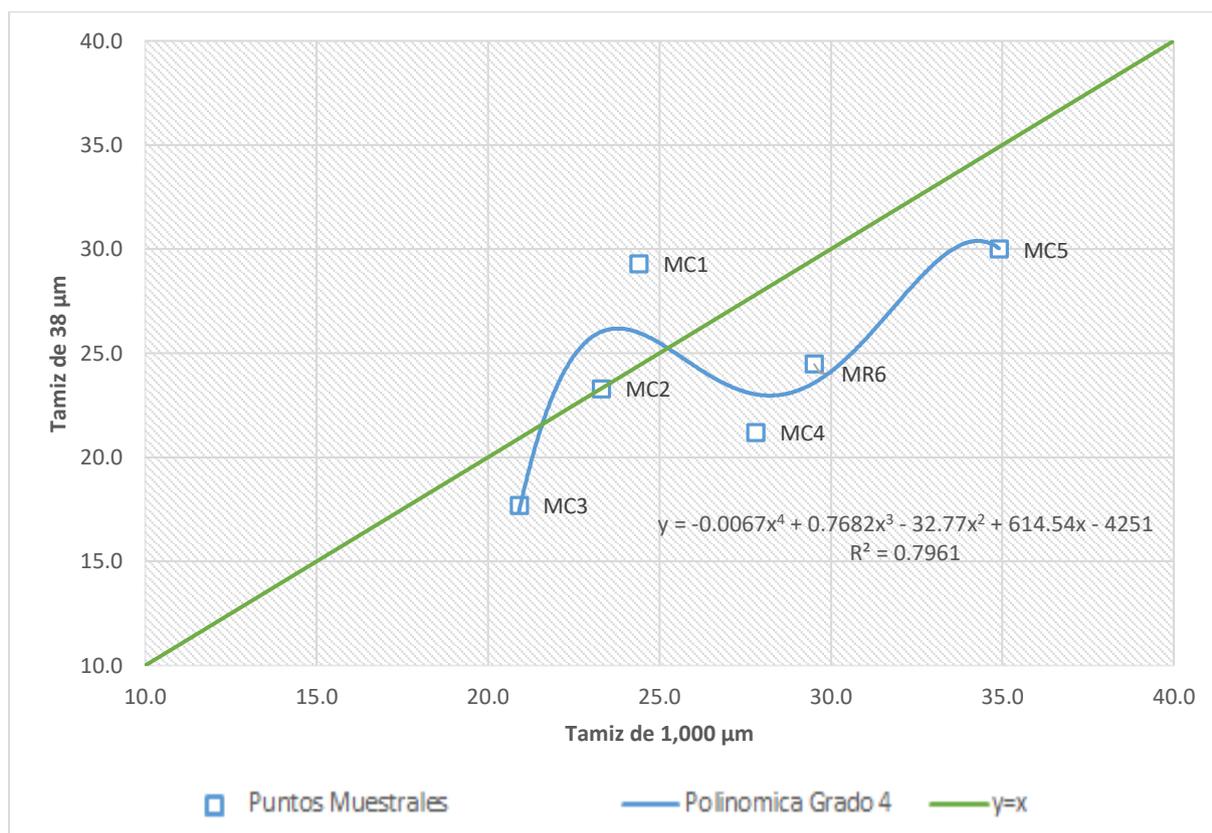


Figura 17. Comparación de los resultados de la concentración de níquel para los dos tamaños de partículas analizadas

La Figura 18 posee la gráfica de las concentraciones de plomo en los dos tamaños de partículas (38 μm y 1,000 μm) para un mismo punto muestral. El modelo de regresión que se ajusta de mejor manera es una función polinómica de grado 4 con un coeficiente de regresión múltiple $R^2=0.7504$, por lo que este modelo lineal describe en un 74.41% la variable real y nos permite observar que las partículas de 1,000 μm poseen mayor concentración de plomo.

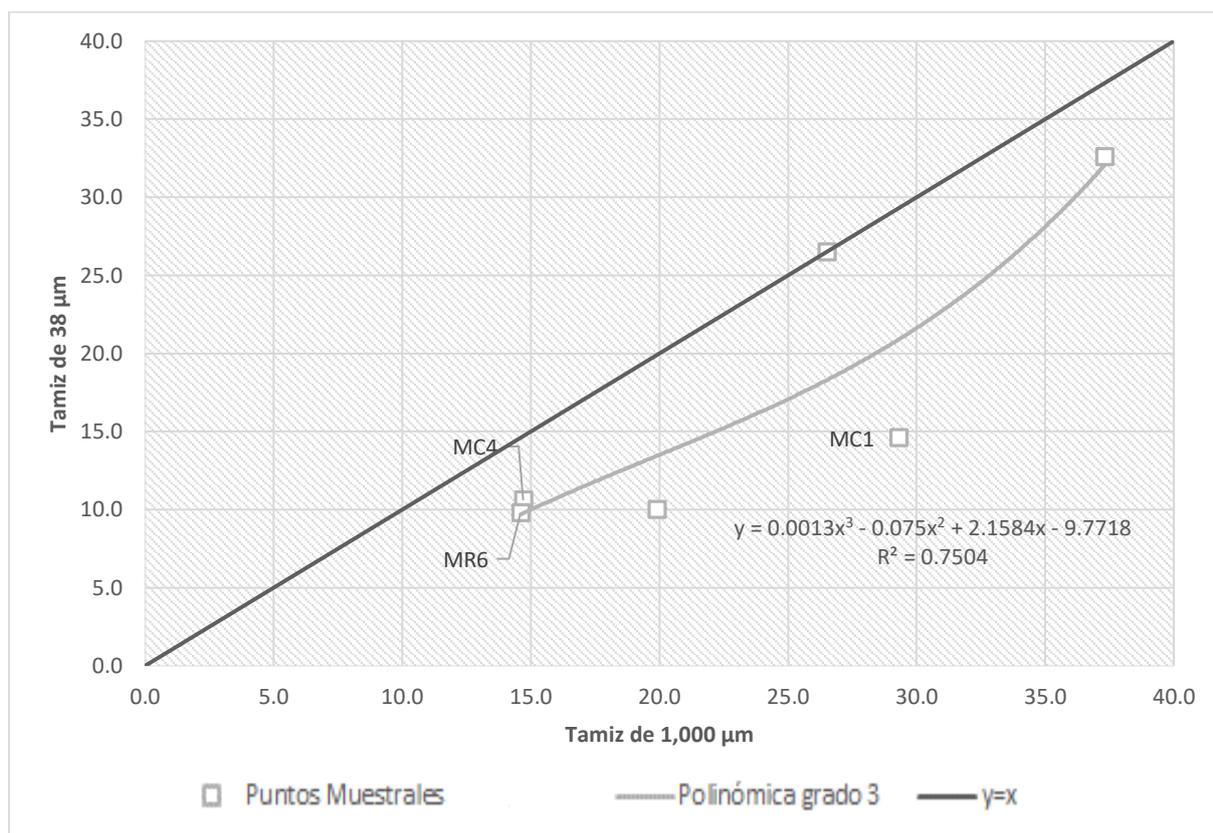


Figura 18. Comparación de los resultados de la concentración de plomo para los dos tamaños de partículas analizadas

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Del análisis de concentración de cobre, níquel, plomo y cadmio se concluye que la concentración de cobre, níquel y plomo es diferente en cada zona, mientras que la concentración de cadmio está por debajo del valor mínimo de detección de 0.1 mg/Kg.
- El tratamiento químico basado en la norma USEPA 3050B (USEPA United States Environmental Protection Agency, 1996) y USEPA 3052 (USEPA United States Environmental Protection Agency, 2013) aplicado a las muestras recolectadas permitió obtener valores de concentración de cobre, níquel, plomo y cadmio, por medio de la aplicación de espectroscopía de absorción atómica a la llama.
- Los datos obtenidos en la comparación de concentraciones de los metales pesados según el tamaño de partícula demostraron que la concentración de cobre es mayor en las partículas de menor tamaño (38 μm), mientras que la concentración de níquel y plomo es mayor en las partículas de mayor tamaño (1,000 μm).
- El análisis de varianza aplicado a los datos de concentración de los metales estudiados permitió concluir que existe diferencia significativa entre las concentraciones de los puntos muestrales del cobre y plomo, mientras que el níquel no posee diferencia significativa.
- Al comparar las concentraciones de metales pesados entre los dos tamaños de partícula (38 μm y 1,000 μm), la prueba *t* pareada mostró que existe diferencia significativa para los datos de concentración del plomo, mientras que para los datos de concentración del cobre y níquel se concluyó que no existe diferencia significativa con un nivel de confianza del 95% ($\alpha=0.05$).

- Al comparar las concentraciones de cobre, níquel y plomo en dos tamaños de partícula (38 μm y 1,000 μm) para un mismo punto muestral, se obtuvieron modelos de regresión que describen la tendencia de dichas concentraciones. Para el cobre el modelo de regresión lineal que describe la tendencia de concentración es la función polinómica de tercer grado con un coeficiente de regresión cuadrado de 0.8456, mientras que para el níquel y el plomo el modelo matemático que describe la relación de las concentraciones es la función polinómica de cuarto grado con un coeficiente de regresión cuadrado > 0.7504 .
- De acuerdo con la “Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados” (Presidencia de la República del Ecuador, 2017) la zona 1 perteneciente al sector La Cocha (área verde de acceso público) muestra concentraciones mayores a los establecidos en dicha norma por presencia de cobre; la zona 1 perteneciente al sector La Cocha (área verde de acceso público) y zona 2 perteneciente al parque Náutico Ignacio Flores y las orillas del río Illuchi (áreas verde de acceso público) presentan concentraciones mayores a los establecidos por presencia de plomo; todas las zonas estudiadas presentan concentraciones de níquel mayores a las establecidas; mientras que ninguna zona estudiada presenta concentraciones que sobrepasen los límites máximos permisibles por cadmio.
- A pesar de que la zona 2 no sobrepasa los límites máximos permisibles es la zona que posee mayor concentración de cobre y plomo con respecto a las zonas 3 y 4, por lo que se concluye que las industrias tomadas en cuenta para el presente trabajo de investigación ubicadas en la zona 3 y la zona 4 (zonas de influencia directa por el sector industrial) no representan un factor determinante en la contaminación de suelos por la presencia de cobre y plomo.
- La contaminación de suelos por la presencia de níquel existente en todas las zonas de estudio se relaciona con actividades propias de cada industria, ya que la empresa textilera, la empresa procesadora de harinas y la empresa de fundición utilizan este metal pesado en sus procesos de producción. La principal afección a la salud humana por la presencia de níquel en el cuerpo humano es la propagación de alergias, en casos extremos produce daños estomacales, efectos adversos en la sangre y el riñón y en caso de inhalación extrema cáncer de riñón (Agencia de Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades, 2014).

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda realizar el análisis de concentración de metales pesados en varios tamaños de partículas para poder conocer en que tamaño de partícula específicamente existe la mayor concentración del metal pesado.
- Para poder conocer si la contaminación de un metal pesado se relaciona a las actividades antropogénicas de la zona se recomienda analizar muestras de agua y muestras vegetativas junto con las muestras de suelo.
- Para realizar un análisis de concentración de metales pesados en muestras de suelos que involucren un número elevado de muestras se recomienda utilizar la técnica de espectroscopía de masas por plasma inductivamente acoplado.
- Se recomienda realizar estudios de contaminación de suelos periódicamente, ampliando las zonas de estudio con el fin de monitorear la contaminación existente en la zona y sobre todo en los lugares residenciales con influencia directa del sector industrial.
- Debido a que todas las zonas sobrepasan los límites permisibles de concentración de níquel se recomienda monitorearlas por la presencia del metal mencionado, además de analizar los alimentos cultivados en la zona 4 para determinar si poseen valores de concentración de cobre, níquel, plomo o cadmio y si dichos valores son representativos para causar posibles daños a la salud. Monitorear la zona 2, en los espacios verdes del parque Náutico Ignacio Flores y las orillas del río Illuchi, debido a que los valores de concentración de cobre se encuentran próximos a los límites permisibles. Mientras que en la zona 3, en las orillas del río Cutuchi donde se descargan los efluentes de las empresas Molinos Poulthier S.A. y Cedal Aluminio, y la zona 4, donde se encuentra la empresa Textiles Cotopaxi, se recomienda realizar análisis en muestras de agua y suelo en diferentes días tomando en cuenta la actividad industrial y el clima de la zona con el fin de descubrir si existe interferencia por parte de estos factores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia de Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades. (2011). *Resumen de Salud Pública - Cobre (Copper)*. Atlanta. Recuperado el 01 de diciembre de 2018 de: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxfaqs/tf.asp?id=205&tid=37>
- Agencia de Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades. (2014). *Resúmenes de Salud Pública - Níquel (Nickel)*. Atlanta. Recuperado el 01 de diciembre de 2018 de: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxfaqs/tf.asp?id=244&tid=44>
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2016a). *Resúmenes de Salud Pública - Cadmio (Cadmium)*. Atlanta. Recuperado el 01 de diciembre de 2018 de: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs5.html
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2016b). *Resúmenes de Salud Pública - Plomo (Lead)*. Atlanta. Recuperado el 01 de diciembre de 2018 de: https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts13.html
- Calderón, D., & Guagchinga, C. (2015). *Diseño y propuesta de infografías en sitios estratégicos referente a lugares importantes y turísticos del cantón Latacunga en el año 2014*.
- Cedal. (2016). *Cedal Aluminio*. Recuperado el 17 de noviembre de 2018 de: <http://www.cedal.com.ec/produccion.html>
- Cevallos, A., González, P., Mercedes, A., Neill, D., Gutiérrez, D., & Martínez, L. (2014). *Flora de Parques y Avenidas de Latacunga*, 1(1), 20–31.
- Consejo Nacional de Planificación. (2017). *Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 “Toda*

una Vida.” *Senplades*, 1–148. Recuperado el 11 de octubre de 2018 de: http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL_0K.compressed1.pdf

Estados Unidos Mexicanos. Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/ (2004).

Fundación Cetabol. (2017). Análisis de suelos agrícolas. Recuperado el 11 de octubre de 2018 de: <http://www.cetabol.bo/sitio/index.php/laboratorio/nutricion-vegetal/analisis-quimico-de-suelos>

Galí, E., Villanueva, M., Larrea, M., & Pomares, M. (2011). Comparison of usepa 3050b and ISO 14869-1:2001 digestion methods for sediment analysis by using faas and icp-oes quantification techniques. *Química Nova*, 34(8), 1443–1449.

Gallegos, W., Vega, M., & Noriega, P. (2012). Espectroscopía de absorción atómica con llama y su aplicación para la determinación de plomo y control de productos cosméticos, *15(1)*, 55–68.

García, C., Moreno, J. L., Hernández, M. T., & Polo, A. (2002). Metales pesados y sus implicaciones en la calidad del suelo. *Ciencia y Medio Ambiente.*, 125–138.

Garrido, M. S. (1993). Interpretación de análisis de suelo. *Hojas Divulgadoras Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación*, 5, 1–40. <https://doi.org/84-341-0810-0>

Gilpavas, E., Arbeláez-Castaño, P. E., Medina-Arroyave, J. D., & Gómez-Atehortua, C. M. (2018). Tratamiento de aguas residuales de la industria textil mediante coagulación

química acoplada a procesos fenton intensificados con ultrasonido de baja frecuencia. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 34(1), 157–167.

González, C., Thompson, J., Martínez, Y., & Sánchez, N. (2010). Concentración de cadmio en partículas de diferentes tamaños de un suelo de la Cuenca del Lago de Valencia. *ISSN 0798-4065*, 73–80.

Holanda. Soil Remediation Circular 2013, version of 1 July 2013 (2013).

Marín, A., Gonzalez, V., Lapo, B., Molina, E., & Lemus, M. (2016). Mercury levels in sediments from the coast of El Oro - Ecuador. *Gayana*, 80(2), 147–153.

Mite, F., Carrillo, M., & Durando, W. (2010). *Avances del monitoreo de presencia de cadmio en almendras de cacao, suelos y aguas de Ecuador. Xii Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del suelo.*

Molinos Poulthier. (2018). Molinos Poulthier S.A. Recuperado el 17 de noviembre de 2018 de: <http://www.molinospoulthier.com/>

Mora, A. M., Jumbo, D., González, M., & Bermeo, S. A. (2016). Niveles De Metales Pesados En Sedimentos De La Cuenca Del Río Puyango, Ecuador. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 385–397.

Presidencia de la Republica del Ecuador. Texto unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente. Libro VI Anexo 2. Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados (2017).

República de Argentina. Decreto 831/93. Niveles guía de calidad suelos. Anexo II Tabla 9. (2009).

- Reyes, Y. C., Vergara, I., Torres, O. E., Díaz, M., & González, E. E. (2016). Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 16(2), 66–77.
- Rubinson, K. a., & Runbinson, J. F. (2001). *Análisis Instrumental 2001*. (Prentice Hall, Ed.) (Primera). Madrid.
- Sánchez, P. (2016). Diagnostico Del Plan De Desarrollo Del Cantón Latacunga 2016-2019.
- Sarmiento, D. (2013). *Evaluación de la contaminación por metales pesados en muestras de musgo recolectadas durante el período febrero – marzo 2011 en la Estación Antártica Ecuatoriana Pedro Vicente Maldonado*.
- Sedolfo Carrasquero, Roselyn Cordero, Marielba Mas y Rubí, L. V. (2016). Tratamiento de efluentes de una industria procesadora de harina mediante coagulación- floculación. *Multiciencias*, 15(3), 256–264.
- Silva, S., & Correa, F. (2009). Análisis de la contaminación del suelo: Revisión de la normativa y posibilidades de regulación económica. *Semestre Económico*, 12(23), 13–34.
- Skoog, D., Holler, J., & Nieman, T. (2001). *Principios de Análisis Instrumental*. (McGRAW-HILL, Ed.) (Quinta). España.
- Sosa, B. S., Banda-Noriega, R. B., & Guerrero, E. M. (2013). Industrias de fundición: aspectos ambientales e indicadores de condición ambiental. *Revista de Metalurgia*, 49(1), 5–19.
- Suquilanda, M. (2008). El deterioro de los suelos en el Ecuador y la producción agrícola. *XI Congreso Ecuatoriano de La Ciencia Del Suelo*, 29–31.

Textiles Cotopaxi. (2018). Textiles Cotopaxi Xpotextil CIA LTDA. Recuperado el 21 de noviembre de 2018 de: <http://www.textilescotopaxi.com/>

USEPA United States Environmental Protection Agency. Method 3050B Acid digestion of sediments, sludges, and soils, *Journal of Chemical Information and Modeling* § (1996).

USEPA United States Environmental Protection Agency. (2013). Method 3052 Microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices. *Journal of Chemical Information and Modeling*.

Zafra, C., Temprano, J., & Tejero, I. (2011). Concentración y distribución de metales pesados (Pb , Zn , Cu , Cd y Cr) en sedimentos viarios urbanos, 53–62. Recuperado el 15 de octubre de 2018 de: <http://www.redalyc.org/pdf/430/43021467006.pdf>

Zhao, H., Li, X., Wang, X., & Tian, D. (2010). Grain size distribution of road-deposited sediment and its contribution to heavy metal pollution in urban runoff in Beijing, China. *Journal of Hazardous Materials*, 183(1–3), 203–210.

ANEXOS



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN PETROQUÍMICA

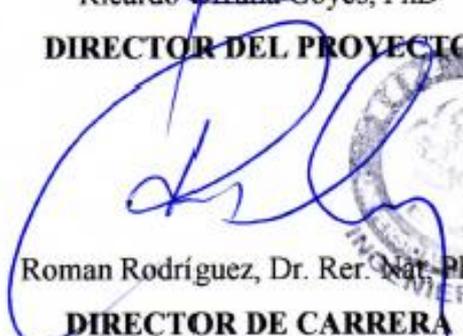
CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por la señorita: **Jessenia Jhomara Cela Jácome**.

En la ciudad de Latacunga a los 26 días del mes de junio de 2019.

Aprobado por:


Ricardo Urrutia Goyes, PhD
DIRECTOR DEL PROYECTO


Roman Rodríguez, Dr. Rer. Nat. PhD
DIRECTOR DE CARRERA



Certificado por:


Ab. Darwin Alban
SECRETARIO ACADÉMICO

