



**UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA AMBIENTAL**

**TEMA:
DETERMINACIÓN DE PLOMO EN CAFÉ INDUSTRIAL Y ARTESANAL
COMERCIALIZADOS EN LA PROVINCIA DE LOJA**

AUTORA: Jessenia Stefania Viñan Guamán

TUTORA: Beatriz Pernía Santos, Ph.D.

GUAYAQUIL, ABRIL 2019



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL
UNIDAD DE TITULACIÓN



Guayaquil, 22 de febrero del 2019

ANEXO 4

Sr.

Ing. Vinicio Macas Espinosa, MSc.
DIRECTOR DE LA CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
Ciudad.-

De mis consideraciones:

Envío a Ud. el Informe correspondiente a la tutoría realizada al Trabajo de Titulación DETERMINACIÓN DE PLOMO EN CAFÉ INDUSTRIAL Y ARTESANAL COMERCIALIZADOS EN LA PROVINCIA DE LOJA de la estudiante VIÑAN GUAMÁN JESSENIA STEFANIA, indicando ha cumplido con todos los parámetros establecidos en la normativa vigente:

- El trabajo es el resultado de una investigación.
- El estudiante demuestra conocimiento profesional integral.
- El trabajo presenta una propuesta en el área de conocimiento.
- El nivel de argumentación es coherente con el campo de conocimiento.

Adicionalmente, se adjunta el certificado de porcentaje de similitud y la valoración del trabajo de titulación con la respectiva calificación.

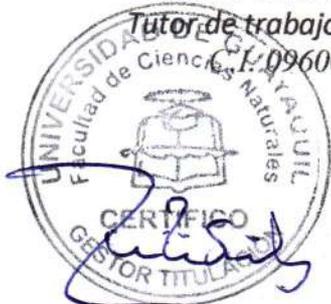
Dando por concluida esta tutoría de trabajo de titulación, **CERTIFICO**, para los fines pertinentes, que el estudiante está apto para continuar con el proceso de revisión final.

Atentamente,

Beatriz Pernía Santos, Ph.D.

Tutor de trabajo de titulación

C.I. 0960050102



RECIBIDO

HORA

11:25 22 FEB 2019

Herlinda Flores Freire



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL
UNIDAD DE TITULACIÓN



ANEXO 5

RÚBRICA DE EVALUACIÓN TRABAJO DE TITULACIÓN

Título del Trabajo: DETERMINACIÓN DE PLOMO EN CAFÉ INDUSTRIAL Y ARTESANAL COMERCIALIZADOS EN LA PROVINCIA DE LOJA Autor(s): Viñan Guamán Jessenia Stefania		
ASPECTOS EVALUADOS	PUNTAJE MÁXIMO	CALF.
ESTRUCTURA ACADÉMICA Y PEDAGÓGICA	4.5	4.5
Propuesta integrada a Dominios, Misión y Visión de la Universidad de Guayaquil.	0.3	0.3
Relación de pertinencia con las líneas y sublíneas de investigación Universidad / Facultad/ Carrera	0.4	0.4
Base conceptual que cumple con las fases de comprensión, interpretación, explicación y sistematización en la resolución de un problema.	1	1
Coherencia en relación a los modelos de actuación profesional, problemática, tensiones y tendencias de la profesión, problemas a encarar, prevenir o solucionar de acuerdo al PND-BV	1	1
Evidencia el logro de capacidades cognitivas relacionadas al modelo educativo como resultados de aprendizaje que fortalecen el perfil de la profesión	1	1
Responde como propuesta innovadora de investigación al desarrollo social o tecnológico.	0.4	0.4
Responde a un proceso de investigación – acción, como parte de la propia experiencia educativa y de los aprendizajes adquiridos durante la carrera.	0.4	0.4
RIGOR CIENTÍFICO	4.5	4.5
El título identifica de forma correcta los objetivos de la investigación	1	1
El trabajo expresa los antecedentes del tema, su importancia dentro del contexto general, del conocimiento y de la sociedad, así como del campo al que pertenece, aportando significativamente a la investigación.	1	1
El objetivo general, los objetivos específicos y el marco metodológico están en correspondencia.	1	1
El análisis de la información se relaciona con datos obtenidos y permite expresar las conclusiones en correspondencia a los objetivos específicos.	0.8	0.8
Actualización y correspondencia con el tema, de las citas y referencia bibliográfica	0.7	0.7
PERTINENCIA E IMPACTO SOCIAL	1	1
Pertinencia de la investigación	0.5	0.5
Innovación de la propuesta proponiendo una solución a un problema relacionado con el perfil de egreso profesional	0.5	0.5
CALIFICACIÓN TOTAL *	10	10
* El resultado será promediado con la calificación del Tutor Revisor y con la calificación de obtenida en la Sustentación oral.		

Beatriz Pernía Santos, Ph.D.
Tutor de trabajo de titulación
No. C.I. 0900050102

fecha: 22/02/2019



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL
UNIDAD DE TITULACIÓN



ANEXO 6

CERTIFICADO PORCENTAJE DE SIMILITUD

Habiendo sido nombrado BEATRIZ PERNÍA SANTOS, PH.D., tutor del trabajo de titulación certifico que el presente trabajo de titulación ha sido elaborado por JESSENIA STEFANIA VIÑAN GUAMÁN, C.C.:0951079474, con mi respectiva supervisión como requerimiento parcial para la obtención del título de INGENIERA AMBIENTAL.

Se informa que el trabajo de titulación: DETERMINACIÓN DE PLOMO EN CAFÉ INDUSTRIAL Y ARTESANAL COMERCIALIZADOS EN LA PROVINCIA DE LOJA, ha sido orientado durante todo el periodo de ejecución en el programa antiplagio (URKUND) quedando el 1 % de coincidencia.

The screenshot shows the URKUND interface with the following details:

- Documento:** TESIS final-VIÑAN- (1).docx (D48172718)
- Presentado:** 2019-02-21 08:59 (-05:00)
- Presentado por:** dra.beatrizperniasantos@gmail.com
- Recibido:** dra.beatrizperniasantos.ug@analysis.orkund.com
- Mensaje:** TESIS VIÑAN [Mostrar el mensaje completo](#)

Summary: 1% de estas 23 páginas, se componen de texto presente en 1 fuentes.

Categoría	Enlace/nombre de archivo
Fuentes alternativas	TITULACION ALCIVAR MARIA urkund...
Fuentes no usadas	

Archivo de registro Urkund: UNIVERSIDAD ... 100% 1 Advertencias.

Documento	Similitud
UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES	100%
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL	100%
TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE INGENIERA AMBIENTAL	100%

<https://secure.orkund.com/view/47046075-894083-749228#q1bKLvayijY2j9VRKs5Mz8tMyOxOzEtOVbly0DMwMDIyNTMyNzUyMzW1MDIxMKwFAA==>

Beatriz Pernía Santos, Ph.D.
C.I. 0960050102





UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL
UNIDAD DE TITULACIÓN



ANEXO 7

Guayaquil, Jueves 14 de Marzo de 2019

Señor Ingeniero

Vinicio Macas Espinosa, MSc.

DIRECTOR (E) DE LA CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL

FACULTAD CIENCIAS NATURALES

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL

De mis consideraciones:

Envío a Ud. el Informe correspondiente a la **REVISIÓN FINAL** del Trabajo de Titulación **DETERMINACIÓN DE PLOMO EN CAFÉ INDUSTRIAL Y ARTESANAL COMERCIALIZADOS EN LA PROVINCIA DE LOJA**, de la estudiante **Jessenia Stefania Viñan Guamán**. Las gestiones realizadas me permiten indicar que el trabajo fue revisado considerando todos los parámetros establecidos en las normativas vigentes, en el cumplimiento de los siguientes aspectos:

Cumplimiento de requisitos de forma:

- El título tiene un máximo de 14 palabras.
- La memoria escrita se ajusta a la estructura establecida.
- El documento se ajusta a las normas de escritura científica seleccionadas por la Facultad.
- La investigación es pertinente con la línea y sublíneas de investigación de la carrera.
- Los soportes teóricos son de máximo 10 años.
- La propuesta presentada es pertinente.

Cumplimiento con el Reglamento de Régimen Académico:

- El trabajo es el resultado de una investigación.
- El estudiante demuestra conocimiento profesional integral.
- El trabajo presenta una propuesta en el área de conocimiento.
- El nivel de argumentación es coherente con el campo de conocimiento.

Adicionalmente, se indica que fue revisado, el certificado de porcentaje de similitud, la valoración del tutor, así como de las páginas preliminares solicitadas, lo cual indica que el trabajo de investigación cumple con los requisitos exigidos.

Una vez concluida esta revisión, considero que la estudiante **Jessenia Stefania Viñan Guamán** está apta para continuar el proceso de titulación. Particular que comunicamos a usted para los fines pertinentes.

Atentamente,

Amado Alejandro Gallardo Campoverde

C.I. 0906170527

RECIBIDO

HORA

15 MAR 2019

Hérlinda Flores Freire





UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL
UNIDAD DE TITULACIÓN



ANEXO 8

RÚBRICA DE EVALUACIÓN MEMORIA ESCRITA TRABAJO DE TITULACIÓN

ASPECTOS EVALUADOS	PUNTAJE MÁXIMO	CALF.	COMENTARIOS
ESTRUCTURA Y REDACCIÓN DE LA MEMORIA	3	3	
Formato de presentación acorde a lo solicitado	0.6	0.6	
Tabla de contenidos, índice de tablas y figuras	0.6	0.6	
Redacción y ortografía	0.6	0.6	
Correspondencia con la normativa del trabajo de titulación	0.6	0.6	
Adecuada presentación de tablas y figuras	0.6	0.6	
RIGOR CIENTÍFICO	6	6	
El título identifica de forma correcta los objetivos de la investigación	0.5	0.5	
La introducción expresa los antecedentes del tema, su importancia dentro del contexto general, del conocimiento y de la sociedad, así como del campo al que pertenece	0.6	0.6	
El objetivo general está expresado en términos del trabajo a investigar	0.7	0.7	
Los objetivos específicos contribuyen al cumplimiento del objetivo general	0.7	0.7	
Los antecedentes teóricos y conceptuales complementan y aportan significativamente al desarrollo de la investigación	0.7	0.7	
Los métodos y herramientas se corresponden con los objetivos de la investigación	0.7	0.7	
El análisis de la información se relaciona con datos obtenidos	0.4	0.4	
Factibilidad de la propuesta	0.4	0.4	
Las conclusiones expresa el cumplimiento de los objetivos específicos	0.4	0.4	
Las recomendaciones son pertinentes, factibles y válidas	0.4	0.4	
Actualización y correspondencia con el tema, de las citas y referencia bibliográfica	0.5	0.5	
PERTINENCIA E IMPACTO SOCIAL	1	1	
Pertinencia de la investigación/ Innovación de la propuesta	0.4	0.4	
La investigación propone una solución a un problema relacionado con el perfil de egreso profesional	0.3	0.3	
Contribuye con las líneas / sublíneas de investigación de la Carrera/Escuela	0.3	0.3	
CALIFICACIÓN TOTAL*		10	
10			
* El resultado será promediado con la calificación del Tutor y con la calificación de obtenida en la Sustentación oral.			


Amado Alejandro Gallardo Campoverde Ph.D.
No. C.I. 0906170527



RECIBIDO

HORA 15 MAR 2019

Fecha: jueves 14 de marzo de 2019


Herlinda Flores Freire



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL
UNIDAD DE TITULACIÓN



ANEXO 10



**REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y
TECNOLOGÍA**

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE
GRADUACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	DETERMINACIÓN DE PLOMO EN CAFÉ INDUSTRIAL Y ARTESANAL COMERCIALIZADOS EN LA PROVINCIA DE LOJA		
AUTOR(ES) (apellidos/nombres):	VIÑAN GUAMÁN JESSENIA STEFANIA		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES) (apellidos/nombres):	GALLARDO CAMPOVERDE AMADO ALEJANDRO, PH.D. BEATRIZ MARGARITA PERNÍA SANTOS, Ph.D		
INSTITUCIÓN:	UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL		
UNIDAD/FACULTAD:	FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES		
TERCER NIVEL:	INGENIERÍA AMBIENTAL		
GRADO OBTENIDO:	INGENIERA AMBIENTAL		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	09 DE ABRIL DEL 2019	No. DE PÁGINAS:	68
ÁREAS TEMÁTICAS:	CIENCIAS AMBIENTALES		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	PLOMO, CAFÉ ARÁBIGO, CONTAMINACIÓN, INOCUIDAD, LOJA		
RESUMEN/ABSTRACT:	<p>El plomo es un metal tóxico que genera enfermedades como anemia, cáncer y déficit de atención. La vía principal de ingreso es la ingesta de alimentos contaminados. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue determinar los niveles de plomo en café industrial y artesanal comercializado en la provincia de Loja. Donde se eligieron tres marcas de café, dos industriales (CC, CV) y una artesanal (CA). Se tomaron muestras por triplicado (n=3) de café en grano, molido e infusión. También se analizaron muestras de suelo para verificar el origen de contaminación. Todos los análisis se realizaron por espectrofotometría de absorción atómica. Se determinó que las concentraciones de Pb en café en grano de la marca CC (1,49 mg/kg), café molido marca CA (2,22 mg/kg), y suelo del cultivo CA (23,60 mg/kg), superaron los LMP por la normativa nacional e internacional. Por otro lado, la marca CV no presentó contaminación en ninguna de sus presentaciones. Las muestras de infusión estuvieron por debajo del límite de detección (<0,1 mg/kg), lo que asegura la inocuidad alimentaria, concluyendo así que el consumo de café no representa un peligro para el consumidor. Finalmente, se planteó medidas para reducir la acumulación de plomo en café.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: 593 981171398	E-mail: stefyvg_26@hotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN:	Nombre: Blga. Miriam Salvador Brito Msc.		
	Teléfono: 3080777 - 3080758		
	E-mail: info@fccnugye.com miriam.salvadorb@ug.edu.ec		



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA **INGENIERIA AMBIENTAL**
UNIDAD DE TITULACIÓN



ANEXO 11

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR REVISOR

Habiendo sido nombrado **Amado Alejandro Gallardo Campoverde Ph.D**, tutor revisor del trabajo de titulación **DETERMINACIÓN DE PLOMO EN CAFÉ INDUSTRIAL Y ARTESANAL COMERCIALIZADOS EN LA PROVINCIA DE LOJA**, certifico que el presente trabajo de titulación, elaborado por **JESSENIA STEFANIA VIÑAN GUAMÁN**, con C.I. No. **0951079474**, con mi respectiva supervisión como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniera Ambiental, en la Carrera de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ciencias Naturales, ha sido **REVISADO Y APROBADO** en todas sus partes, encontrándose apto para su sustentación.

Guayaquil, jueves 14 de marzo de 2019

Amado Alejandro Gallardo Campoverde Ph.D

C.I. No. 0906170527





UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL
UNIDAD DE TITULACIÓN



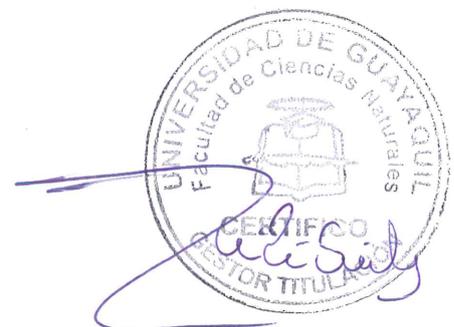
ANEXO 12

**LICENCIA GRATUITA INTRANSFERIBLE Y NO EXCLUSIVA PARA EL
USO NO COMERCIAL DE LA OBRA CON FINES ACADÉMICOS**

Yo, **JESSENIA STEFANIA VIÑAN GUAMÁN** CON C.I. No. 0951079474, certifico que los contenidos desarrollados en este trabajo de titulación, cuyo título es **DETERMINACIÓN DE PLOMO EN CAFÉ INDUSTRIAL Y ARTESANAL COMERCIALIZADOS EN LA PROVINCIA DE LOJA**, son de mi absoluta propiedad y responsabilidad Y SEGÚN EL Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN*, autorizo el uso de una licencia gratuita intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la presente obra con fines académicos, en favor de la Universidad de Guayaquil, para que haga uso del mismo, como fuera pertinente

JESSENIA STEFANIA VIÑAN GUAMÁN
C.I. No. 0951079474

*CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN (Registro Oficial n. 899 - Dic./2016) Artículo 114.- De los titulares de derechos de obras creadas en las instituciones de educación superior y centros educativos.- En el caso de las obras creadas en centros educativos, universidades, escuelas politécnicas, institutos superiores técnicos, tecnológicos, pedagógicos, de artes y los conservatorios superiores, e institutos públicos de investigación como resultado de su actividad académica o de investigación tales como trabajos de titulación, proyectos de investigación o innovación, artículos académicos, u otros análogos, sin perjuicio de que pueda existir relación de dependencia, la titularidad de los derechos patrimoniales corresponderá a los autores. Sin embargo, el establecimiento tendrá una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra con fines académicos.





UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL
UNIDAD DE TITULACIÓN



ANEXO 13

**DETERMINACIÓN DE PLOMO EN CAFÉ INDUSTRIAL Y ARTESANAL
COMERCIALIZADOS EN LA PROVINCIA DE LOJA**

Autor: Jessenia Stefania Viñan Guamán

Tutor: Ph.D., Beatriz Pernía Santos

Resumen

El plomo es un metal tóxico que genera enfermedades como anemia, cáncer y déficit de atención. La vía principal de ingreso es la ingesta de alimentos contaminados. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue determinar los niveles de plomo en café industrial y artesanal comercializado en la provincia de Loja. Donde se eligieron tres marcas de café, dos industriales (CC, CV) y una artesanal (CA). Se tomaron muestras por triplicado ($n=3$) de café en grano, molido e infusión. También se analizaron muestras de suelo para verificar el origen de contaminación. Todos los análisis se realizaron por espectrofotometría de absorción atómica. Se determinó que las concentraciones de Pb en café en grano de la marca CC (1,49 mg/kg), café molido marca CA (2,22 mg/kg), y suelo del cultivo CA (23,60 mg/kg), superaron los LMP por la normativa nacional e internacional. Por otro lado, la marca CV no presentó contaminación en ninguna de sus presentaciones. Las muestras de infusión estuvieron por debajo del límite de detección ($<0,1$ mg/kg), lo que asegura la inocuidad alimentaria, concluyendo así que el consumo de café no representa un peligro para el consumidor. Finalmente, se planteó medidas para reducir la acumulación de plomo en café.

Palabras Claves: plomo, café arábigo, contaminación, inocuidad, Loja



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL
UNIDAD DE TITULACIÓN



ANEXO 14

***DETERMINATION OF LEAD IN COMMERCIALIZED INDUSTRIAL AND
ARTISAN COFFEE IN THE LOJA PROVINCE***

Author: Jessenia Stefania Viñan Guamán

Advisor: Ph.D, Beatriz Pernía Santos

Abstrac

Lead is a toxic metal that generates diseases such as anemia, cancer and attention deficit. The main route of entry is ingestion of contaminated food. Therefore, the objective of this research was to determine the levels of lead in industrial and artisanal coffee marketed in the province of Loja. Where were chosen three brands of coffee, two industrial (CC/CV) and an artisan (CA). Samples were taken in triplicate (n=3) of coffee beans, ground and infusion. Soil samples were also analyzed to verify the origin of contamination. All analyses were performed by atomic absorption spectrophotometry. It was determined that the concentrations of Pb in coffee bean of the CC mark (1.49 mg/kg), CA ground coffee (2.22 mg/kg) and soil of the CA crop (23.60 mg / kg), exceeded the LMP by national and international regulations. On the other hand, mark CV did not present contamination in any of his appearances. Infusion samples were below the limit of detection (<0,1 mg/kg), which ensures food safety, concluding that coffee consumption does not represent a danger for the consumer. Finally, measures was raised to reduce the accumulation of lead in coffee.

Keywords: lead, arabica coffee, pollution, safety, Loja

DEDICATORIA

Este presente trabajo está dedicado principalmente a Dios, quien ha forjado mi camino ayudándome aprender de mis errores y darme esa total fortaleza para no desmayar ante cualquier obstáculo.

Mis padres Erico Viñan y María Guamán, quienes han sido la guía para poder llegar a esta etapa de mi carrera, que con su ejemplo, dedicación, apoyo y palabras de aliento nunca dejara de luchar por mi sueño.

A mis hermanos, Ericka y Fernando, para que ellos se inspiren en lograr el mismo objetivo de ser un excelente profesional.

A mi hijo, Jared Castro, por ser mi fuente de motivación que, aunque en estos momentos no llegues a entender mis palabras, quiero que sepas que por ti he luchado hasta el final y demostrarte que pese a muchas adversidades en la vida no se debe dejar de crecer, por lo contrario, hay que ser perseverantes y triunfadores.

AGRADECIMIENTO

Este gran logro se lo agradezco infinitamente a mi formadora Dra. Beatriz Pernía Santos, persona de gran sabiduría quien sin duda me brindó todos sus conocimientos y dedicación, gracias a ella he logrado importantes objetivos como culminar el desarrollo de mi tesis con éxito.

A mi tía Cecilia Guamán, por darme su confianza y ánimos de seguir adelante inculcándome siempre en los estudios y por darme la oportunidad de seguir trabajando junto a ella.

A mis compañeros Henry Carreño, Carlos Gordillo, Sharon Medrano, María Fernanda Alcívar por brindarme de su tiempo y conocimientos durante esta investigación. Finalmente, a los seres queridos que apoyaron con un granito de arena y a mis colegas, Buenos Hermanitos que han sido parte de mi constancia día a día en esta linda carrera.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
1.1. Planteamiento del problema	3
1.2. Justificación	5
1.3. Objetivos.....	6
1.3.1. Objetivo general.....	6
1.3.2. Objetivos específicos	6
1.4. Hipótesis.....	6
1.5. Delimitación.....	6
1.5.1. Área de estudio	6
CAPÍTULO II	10
2.1. Antecedentes.....	10
2.2. Marco teórico.....	13
2.2.1. Metales pesados	13
2.2.2. Plomo	13
2.2.3. Plomo en los alimentos	15
2.2.4. Efectos de plomo en la salud	15
2.2.5. Plaguicidas.....	16
2.2.6. Fertilizantes	17
2.2.7. Procesos para la elaboración del café industrial.....	18
2.2.8. Procesos de café artesanal.....	21
2.3. Marco legal	21
CAPÍTULO III	24
3.1. Metodología.....	24
3.1.1. Colecta y número de muestras	24
3.1.2. Diseño experimental	24

3.2. Método de campo	24
3.2.1. Toma de muestra	24
3.2.2. Procesamiento de muestras	27
3.2.2.1. Café en grano y molido	27
3.2.2.2. Infusión	28
3.2.2.3. Suelo	29
3.2.2.4. Transporte de muestra	29
3.3. Método de laboratorio	29
3.3.1. Manejo de muestras	30
3.3.1.1. Equipos e insumos	30
3.3.1.2. Reactivos	31
3.3.2. Preparación de las muestras	31
3.3.2.1. Digestión ácida asistida por hornos microondas	31
3.3.2.2. Digestión ácida asistida en plancha de calentamiento	32
3.3.2.3. Lectura de resultados	32
3.4. pH del suelo	32
3.5. Análisis de la textura del suelo	33
CAPÍTULO IV	36
4.1. Resultados	36
4.1.1. Niveles de plomo en café industrial y artesanal	36
4.1.2. Comparación de las concentraciones de Pb obtenidas en café en grano, café molido y café en infusión, en base a la normativa nacional e internacional con relación a los límites permisibles establecidos	37
4.1.3. Correlación entre el contenido de Pb, la textura y pH del suelo	39
4.2. DISCUSIÓN	43

4.3. MEDIDAS PARA REDUCIR LA ACUMULACIÓN DE PLOMO EN	
CAFÉ	46
CONCLUSIONES	49
RECOMENDACIONES	50
BIBLIOGRAFÍA	51
ANEXOS	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del café industrial y artesanal con sus respectivas coordenadas	9
Figura 2. Planta de café Arábigo	25
Figura 3. Recolección de café en grano	25
Figura 4. Café molido artesanal.....	26
Figura 5. Toma de muestra de suelo.....	26
Figura 6. Peso de la muestra de café en grano de la marca CC-M2.....	27
Figura 7. Peso de la muestra de café molido de la marca CC-M1	28
Figura 8. Muestra de café líquido de la marca CC-M1	28
Figura 9. Peso de la muestra de suelo marca CC-M1	29
Figura 10. Peso de la muestra de suelo CV-M2.....	33
Figura 11. Muestras diluidas de la marca CC.....	33
Figura 12. Prueba de la bola de barro	34
Figura 13. Prueba de la comprensión de la bola	35
Figura 14. Prueba de la botella.....	35
Figura 15. Concentración de plomo en suelo de las marcas: CA, CC y CV	37
Figura 16. Comparación de las concentraciones de plomo en café en grano y café molido de las marcas CA, CC y CV con la normativa nacional e internacional.....	38
Figura 17. Comparación de las concentraciones de plomo en suelo de las diferentes marcas de café con respecto al Acuerdo Ministerial 097-A y la EPA	39
Figura 18. Comparación del pH del suelo donde se cosecha el café de las marcas: CA, CC y CV.....	40
Figura 19. Porcentaje de arcilla, limo y arena en suelo de las marcas CA, CC y CV	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Concentración de plomo en café en grano, molido e infusión de origen industrial (CC y CV) y artesanal (CA).....	36
Tabla 2. Características del suelo en base al tercer ensayo de la FAO-2018...41	

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Gráfico prueba de normalidad Anderson-Darling	66
Anexo 2. Prueba de Igualdad de Varianza (ANOVA)	67
Anexo 3. Análisis de Varianza (ANOVA)	68
Anexo 4. Método de Tukey.....	68

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el mundo depende de productos químicos, los cuales tienen diferentes usos, como incrementar la producción de alimentos y proteger la salud. Sin embargo, ciertos productos químicos son peligrosos, su liberación a la naturaleza sin control puede ocasionar efectos tóxicos (Bustamante, 2011).

El plomo es un metal pesado, cristalino, de sabor ligeramente dulce, soluble en agua y extremadamente tóxico (Yucra, Gasco, Rubio, & Gonzales, 2008), tiende a bioacumularse, debido a esto su concentración en plantas y animales se magnifica a lo largo de la cadena alimentaria (Rubio et al., 2004).

Es importante destacar que la contaminación de este metal puede darse de manera natural o antropogénica; de forma natural se encuentra presente en la corteza terrestre y su origen antropogénico en los insumos agrícolas, las descargas industriales y municipales (Malar, Vikram, Favas, & Perumal, 2014).

El plomo tiene efectos tóxicos en muchos órganos, sistemas y procesos fisiológicos. Al ingresar este compuesto por vía digestiva, respiratoria o a través de la piel, se asocia en una primera fase a los eritrocitos; a largo plazo, alrededor del 95% del metal presente en el organismo se acumula en los huesos sustituyendo al calcio, el resto se acumula principalmente en los riñones y en el hígado (Yucra et al., 2008). El Pb también altera el desarrollo del sistema nervioso, particularmente desde el período prenatal hasta la infancia (Mason, Harp, & Han, 2014).

En el Ecuador, el café es un producto primordial para el sector agropecuario por la generación de divisas e ingresos que implica su exportación, se estima que en el año 2016 se importaron 5,283 toneladas de café en grano (Monteros, 2017) . Además, durante los últimos 15 años se ha ubicado entre los primeros nueve cultivos con mayor superficie cosechada y es producido en 19 provincias del país (Monteros, 2017).

Una de las principales provincias donde se cosecha el café es en la provincia de Loja. Según Ramón (2018), la primera planta de café de Loja se cultivó en 1826. El Gobierno Nacional reconoce la importancia del café en la economía del país, por esta razón el Ministerio de Agricultura y Ganadería,

impulsa la producción de café arábigo por medio del “Proyecto de Reactivación de la Caficultura Ecuatoriana”, la cual tiene como objetivo elevar la productividad por hectárea, rentabilidad, investigación, mejoramiento de la calidad con tecnologías y procedimientos actuales e institucionalidad de la cadena de valor (MAG, 2017).

El Proyecto de Reactivación de la Caficultura Ecuatoriana cuenta con un equipo técnico de 15 profesionales que promueven la renovación y asistencia técnica del café interviniendo en 15 cantones de la provincia de Loja como: Loja, Quilanga, Gonzanamá, Calvas, Chaguarpamba, Puyango, Olmedo, Paltas, Macará, Espíndola, Catamayo, Saraguro, Pindal, Celica y Sozoranga (MAG, 2017).

Según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (2017), en la provincia de Loja los productores no asociados poseen una superficie cosechada de 1818 hectáreas obteniendo un total de 1980 quintales anuales. Por otro lado, los productores asociados tienen 436 ha. de cosecha, produciendo así 790 quintales anualmente. Sin embargo, no se han realizado estudios para determinar la inocuidad alimentaria de este café.

Existen investigaciones que indican la contaminación por metales pesados en cultivos y productos que se comercializan en el Ecuador, tales como arroz, soya y cacao (Pozo, 2011; Muñoz, 2016; López, 2017; Díaz, 2018). Sin embargo, no existen estudios sobre la concentración de metales pesados en café. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue identificar las concentraciones de plomo en café industrial y artesanal comercializado en la provincia de Loja.

CAPÍTULO I

1.1. Planteamiento del problema

El continente Latinoamericano es una de las regiones productoras de café más importantes a nivel mundial con más de 67 millones de sacos al año (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2004). Ecuador posee una gran capacidad como productor de café, debido a su ubicación geográfica produce uno de los mejores cafés de América del Sur y de los más demandados en Europa por su alta calidad y sus magníficos sabores (Jiménez & Massa, 2015).

La Asociación Nacional de Exportadores de Café (2017), indica que el país exportó 695.144,07 sacos de 60 kilogramos tipo arábigo, robusta e industrializado; teniendo así un valor en ese año de \$116.699.943,13.

Según la FAO (2009), la agricultura artesanal utiliza prácticas agropecuarias indígenas, consecuencia de la evolución conjunta de los sistemas sociales y medioambientales autóctonos y que muestran un nivel alto de sentido ecológico expresado a través del uso intensivo de los conocimientos y recursos naturales que incluyen la gestión de la agro biodiversidad mediante sistemas agropecuarios diversificados.

Mientras que la agricultura industrial emplea métodos técnico-científicos, económicos y políticos, como son: innovación en maquinaria y métodos de producciones agropecuarias, tecnología genética, técnicas para lograr economías de escala en la producción, creación de nuevos mercados de consumo, protección mediante patentes de la información genética y comercio a escala internacional. Estos métodos están generalizados en los países desarrollados y son cada vez comunes en todo el mundo (FAO, 2009).

Los metales pesados son una de las principales fuentes de contaminación que existen actualmente, cuya consecuencia perjudica la calidad del medio ambiente y la salud de los seres humanos (Prieto, González, Román, & Prieto, 2009). El plomo (Pb) y el cadmio (Cd) han sido calificados como los metales pesados con mayor índice de toxicidad, siendo su vía principal de ingreso el consumo de alimentos contaminados (Nava-Ruíz & Méndez-Armenta, 2011).

El plomo genera cáncer e hipertensión, a diferencia del cadmio que, bloquea el funcionamiento de las enzimas encargadas de sintetizar la hemoglobina, ocasionando anemia, se ha demostrado también que disminuye el coeficiente intelectual en los niños (Lassiter et al., 2015). Ambos metales son persistentes y no son biodegradables en el ambiente, se pueden trasladar a plantas de cultivos e ingresar a la cadena trófica biomagnificándose y bioacumulándose en animales y humanos (Burger, 2008; Zhou et al., 2013).

En Ecuador existen evidencias de contaminación por Cd y Pb en suelos agrícolas y en plantas de cultivo. En un trabajo realizado por Pozo, Sanfeliu y Carrera (2011), en la cuenca baja del río Guayas, encontraron Cd y Pb en los suelos agrícolas y en el arroz. De igual forma, Muñoz et al. (2016), hallaron en los cantones de Daule y Nobol altas concentraciones de Cd y Pb en el suelo y en las plantas de arroz, llegando a acumular estos metales pesados en los granos.

En otro estudio realizado por López (2017), se determinó que existe contaminación por cadmio y plomo en el grano de soya, en la soya en polvo y líquida, en donde se encontró altas concentraciones pasando el nivel máximo permitido 0,20 mg/kg para plomo y cadmio según la Unión Europea.

También se evidenció contaminación por Cd y Pb en cacao, según el estudio realizado por Díaz, Mendoza, Bravo, & Domínguez (2018), en diferentes fincas del Cantón Vinces, donde se pudo demostrar la presencia de estos contaminantes superando los límites máximos permisibles.

Por otro lado, no se han realizado estudios en el país que evidencien que el café no se ve afectado por la contaminación con metales pesados y tampoco se ha comparado el café obtenido por métodos artesanales de los industriales. En el cultivo de café se utilizan diversos productos químicos para combatir la presencia de plagas y fertilizantes, así mismo utilizan diferentes materiales durante el proceso de tueste y molienda del café hasta llegar al producto final para comercializarlo y consumirlo. Estos pueden ser el origen de contaminación por metales pesados en especial por plomo.

1.2. Justificación

El consumo de café se ha ido incrementado a lo largo del tiempo siendo así una tendencia en los cuatro últimos años, donde se ha incrementado el número de grandes cadenas de café como Sweet and Coffee y Juan Valdez que han llegado a satisfacer la demanda de café en el mercado interno de Ecuador (Rivera & Valarezo, 2016).

En el estudio realizado por Pizarro, Barrezueta & Prado (2016), se determinó que el 80% de las personas que habitan en el centro urbano de la ciudad de Machala consumen café, por medio de encuestas se observó que el 81% de la población consume café instantáneo y el 19% le gusta el café de filtrar. El consumo per cápita estimado para el 2015 fue de 1,72 gramos/persona/año y la frecuencia de tomar café es de un promedio de 343 tz/año con un promedio de una taza diaria (Pizarro, Barrezueta, & Prado, 2016).

La Normativa Ecuatoriana NTE INEN 1122 indica que el café soluble debe cumplir con los requisitos del contenido máximo (mg/kg) de contaminantes como Pb, Cu, Zn, As, Sn, Cd, y Hg; sin embargo, no existen estudios sobre concentraciones de plomo en café dentro del país. Por lo tanto, es de suma importancia realizar investigaciones para determinar los niveles de plomo en café industrial y artesanal, ya que el café es uno de los productos más consumidos por la población y la presencia de plomo en este producto pondría en riesgo la salud de los ecuatorianos.

En Ecuador se ha descrito la presencia de metales pesados en suelo y cultivos a través de varios estudios. Según Cahuasqui (2011), en la parroquia rural de Alóag se determinó la concentración de metales pesados como plomo, cadmio y níquel en el cilantro (*Coriandrum sativum* L.), en el cual se pudo constatar que el cadmio se presenta en mayor concentración que níquel y plomo, también se verificó que los tallos tienen un elevado contenido de Cd.

Así mismo, en la parroquia El Quinche se realizó estudios de plomo y cadmio en cultivos orgánicos y convencionales de lechuga (*Lactuca sativa*) y zanahoria (*Daucus carota*); se obtuvo que el Pb se encuentra en mayor concentración en los cultivos orgánicos, mientras que el Cd está presente en cultivos convencionales. En los análisis de agua y suelo, el metal que supera el

límite establecido en la normativa ecuatoriana es el cadmio, por lo tanto, se concluye que ambos factores son fuentes de contaminación para los cultivos (Pila, 2016).

De allí, la importancia de determinar la concentración de los metales pesados en el café. Cabe indicar que se realizó un estudio preliminar donde se verificó que en el café no era detectable el Cd, a diferencia del Pb y es por ello que este estudio se centró en este último metal pesado.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Determinar las concentraciones de plomo en café industrial y artesanal comercializados en la provincia de Loja.

1.3.2. Objetivos específicos

- Evaluar los niveles de plomo en café industrial y artesanal en grano, molido y en infusión.
- Comparar las concentraciones de plomo entre el café industrial, artesanal y los límites máximos permisibles en las normas nacionales e internacionales.
- Proponer medidas para reducir la concentración de plomo en el café.

1.4. Hipótesis

Las concentraciones de plomo en café industrial son mayores en comparación al café artesanal.

1.5. Delimitación

El área de estudio fue delimitada en los cantones de la provincia de Loja, en Ecuador, donde se cultiva mayormente el café arábigo. Los cantones escogidos fueron Chaguarpamba, Sozoranga y Paltas.

1.5.1. Área de estudio

La provincia de Loja consta de 16 cantones, se encuentra ubicada en el extremo sur del territorio nacional a una altitud de 2.100 metros sobre el nivel del mar, tiene una extensión de 1.883 kilómetros cuadrados. Limita al norte con el cantón Saraguro, al sur y este con la provincia de Zamora Chinchipe, al oeste

con parte de la provincia de El Oro y los cantones Catamayo, Gonzanamá y Quilanga (Torres & Duche, 2012).

Loja es una ciudad emprendedora, con 180.617 habitantes (INEC, 2010), en donde se concentra el comercio y varios servicios. Las parroquias rurales cuentan con productos agrícolas y pecuarios; dentro de los agrícolas, los principales son: caña de azúcar, maíz, café, frutales, hortalizas y yuca (Torres & Duche, 2012).

El cantón Chaguarpamba se encuentra ubicado en el noroeste de la provincia de Loja, el cual cuenta con 7,2 mil habitantes (INEC, 2010). Tiene una extensión de 317,7 Km² de superficie, la misma que significa el 2,76% de la superficie total de la provincia de Loja, sus coordenadas geográficas son X: 650477,8049; Y: 9571611,046. Los límites del cantón Chaguarpamba son: al norte con los cantones Portovelo y Piñas, provincia de El Oro; al sur con los cantones Olmedo y Paltas, provincia de Loja; al este con el cantón Catamayo, provincia de Loja; al oeste: con el cantón Paltas, provincia de Loja (Gobierno Autónomo Descentralizado, Municipal Chaguarpamba, 2018).

Sozoranga es un cantón que goza de un clima saludable, y se encuentra ubicado en el centro sur de la provincia de Loja con una extensión de 428 Km² superficie. Limita al norte con Paltas; al sur con Perú, al este con Calvas y al oeste con Macará y Celica. Cuenta con 7,5 mil habitantes, la población se dedica a la ganadería, artesanía y principalmente a la agricultura, donde los productos más importantes son el café, maíz, yuca, arveja y maní (GAD, Sozoranga, 2006; INEC, 2010).

El cantón Paltas se encuentra ubicado en el Callejón Interandino de la Sierra ecuatoriana, al occidente de la ciudad de Loja (Guamán, 2014). Así mismo está constituido por nueve parroquias con una extensión de 1.124 km² de superficie y sus límites son, al norte con los cantones Chaguarpamba, Olmedo y parte de la provincia de El Oro; al sur con Calvas, Sozoranga y Célica; al este: Gonzanamá y Catamayo y al oeste: Puyango y Célica (GAD, Cantón Paltas, 2016).

Posee una población de 23,8 mil habitantes (INEC, 2010), su actividad económica más importante es la agricultura, y consta de tres tipos de zonas de producción: productos de autoconsumo en huertos de bajo riego; la producción extensiva de ciclo corto y la producción ganadera (Guamán, 2014).

Con respecto a los puntos de muestreo, se seleccionaron tres cantones de la provincia de Loja, los cuales son lugares donde se cultiva café arábigo; este es un producto comercial y de alta calidad a nivel mundial. El primer punto escogido fue en el cantón Chaguarpamba (marca CC), el segundo punto seleccionado fue el cantón Sozoranga (marca CV) y como último punto se escogió el cantón Paltas (marca CA).

De la misma forma se describen los puntos de muestreo donde se efectuó la compra de las diferentes marcas de café para su posterior análisis. En cada cantón se recolectó 9 muestras. Teniendo en cuenta que las muestras de infusión se realizaron en la ciudad de Guayaquil. El mapa y las coordenadas de los tres cantones se muestran en la Figura 1.

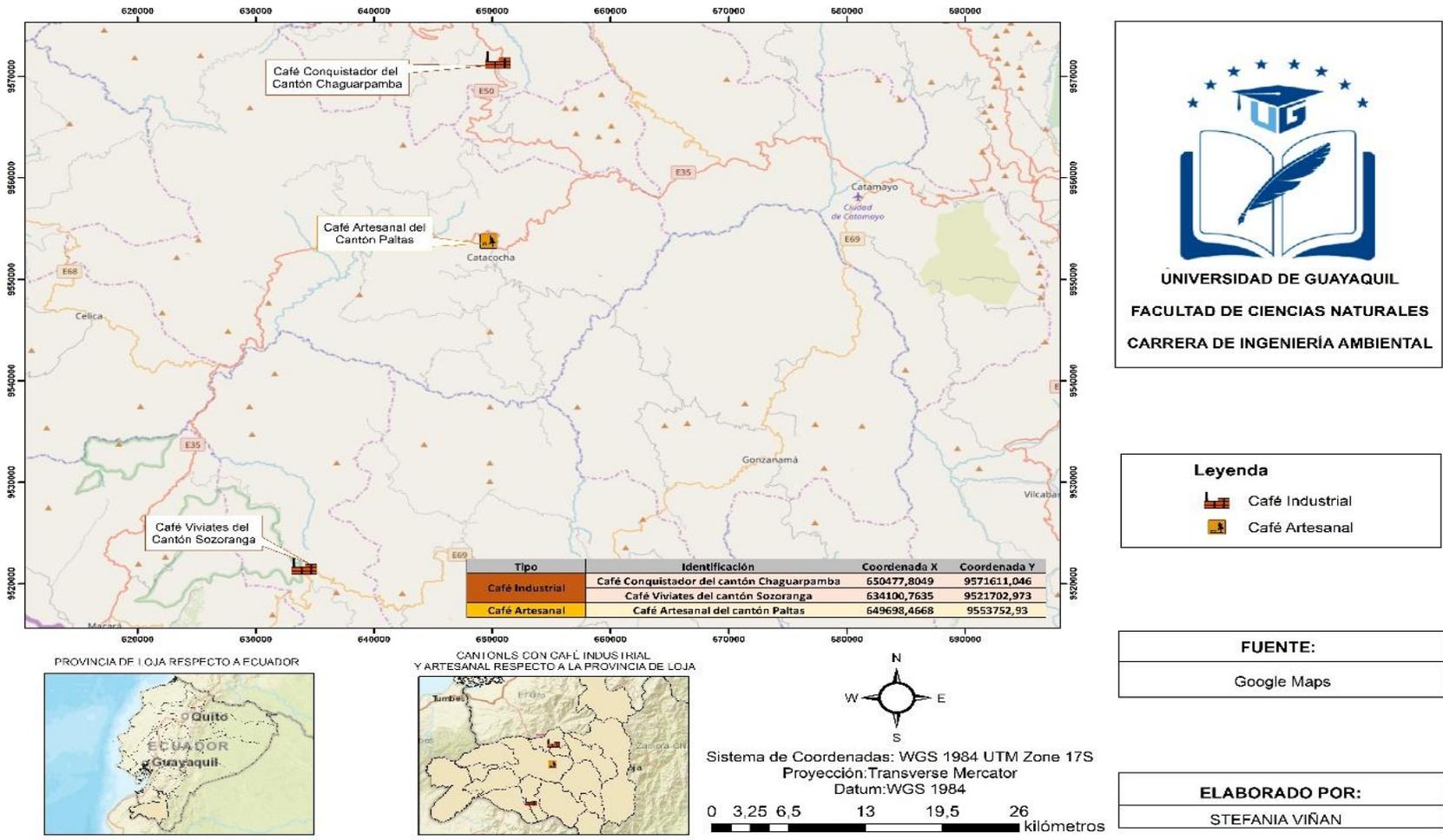


Figura 1. Ubicación del café industrial y artesanal con sus respectivas coordenadas

Fuente: (Viñan,2018)

CAPÍTULO II

2.1. Antecedentes

El café es un producto de gran importancia en el mercado mundial, y su cultivo se realiza generalmente en las regiones tropicales. Más de 80 países lo cultivan variando en su calidad y poco más de 50 países lo exportan (Brenes & Víquez, 2016).

Por su valor comercial es uno de los principales productos agrícolas, con una participación importante en el comercio mundial, produciendo ingresos anuales superiores a los 15 mil millones de dólares para los países exportadores y dando empleos directos e indirectos a poco más de 20 millones de personas dedicadas al cultivo, transformación, procesamiento y comercialización del producto en todo el mundo (Brenes & Víquez, 2016).

El cultivo de café es una de las principales actividades agrícolas que se realizan en el Ecuador, pues se encuentra entre los diez cultivos con mayor superficie, además, se produce en varias provincias del país (Monteros, 2017).

Por otro lado, el plomo y sus derivados se presentan en todas partes del ecosistema, tanto en el aire, plantas y animales de uso alimentario, agua potable, ríos, océanos, lagos, polvo y suelo (Rubio et al., 2004).

Según Rubio et al. (2004), en el suelo de terrenos no cultivados se han encontrado de 8 a 20 mg/kg/Pb mientras que en terrenos cultivados puede llegar a encontrarse por encima de 360 mg/kg/Pb y cerca de fuentes de contaminación industrial, el suelo alcanza contenidos de 10 g/kg/Pb o más.

En un estudio realizado en la región de Alto Paranaíba en Brasil, se determinó la concentración de metales pesados tales como cadmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), manganeso (Mn), níquel (Ni), plomo (Pb) y zinc (Zn) en granos de café tostado y molido. En algunas muestras se encontraron niveles muy altos de plomo y cromo que sobrepasaban la norma establecida, solo el 14% de las muestras analizadas cumplían con el límite máximo permisible de la ley brasileña (Silva et al., 2016).

Por otro lado, Nędzarek et al. (2013), encontraron bajos niveles de Mn, Co, Ni, Cr, Ag y Pb en café, indicando que las concentraciones de estos metales son bajas como para influir en la salud. Sin embargo, los datos sobre el consumo de Pb en las personas de Bosnia y Herzegovina, indican que la ingesta de Pb en el café puede ser perjudicial, pero no para generar envenenamiento por plomo. El alto nivel de plomo en algunos cafés sugiere la necesidad de un control más preciso de la contaminación del café (Nędzarek et al., 2013).

Pigozzi, Passos, & Mendes (2018), cuantificaron el contenido de cenizas y concentración de metales pesados como el cadmio, plomo, cobre, cromo, níquel y zinc, en el café tostado y molido y sus respectivas infusiones. Según el análisis de cenizas, estaban dentro de las normas establecidas por la legislación brasileña. En algunas muestras de café tostado y molido, se encontraron niveles altos de Pb y Cr; mientras que en las infusiones el metal con mayor concentración fue zinc y Pb sólo se detectó en siete de quince muestras.

En el trabajo de Ashu & Chandravanshi (2011), se determinó que los metales tóxicos no esenciales como Cd y Pb tenían cantidades muy bajas ($<0,01 \mu\text{g Cd}$ y $<0,04 \mu\text{g Pb}$) en polvo de café tostado. Sin embargo, presentó mayor concentración de metales pesados en relación con las infusiones de café. Según Santos, Santos, & Conti (2010), el estudio comparativo que realizaron sobre la concentración de metales pesados en cafés brasileños cultivados por agricultura orgánica, tradicional y tecnológica, dio como resultado que el nivel de Cd, Cu, Zn y otros elementos tóxicos son muy altos en la agricultura tradicional y tecnológica por el uso frecuente de fertilizantes fosfatados. En efecto, los fertilizantes generan un aumento de metales pesados en el suelo y estos son absorbidos por las plantas y transmitidos a la cadena alimentaria (Santos et al., 2010).

Por otra parte, Müller et al. (2015), investigó la liberación de iones elementales en máquinas de café y hervidores eléctricos en simuladores de alimentos. Las descalcificaciones de las máquinas de café fueron realizadas tres días antes y tres días después, ya que se realiza como una medida para mejorar la calidad del café. Tanto cuantitativa como cualitativamente, el nivel más alto de lixiviación fue en las máquinas portafilter, dando a conocer que el Pb, Ni, Mn, Cr

y Zn estaban más allá de los límites permisibles, todo esto se dio después de la descalcificación.

Toni et al. (2017), investigaron la liberación de ftalatos y metales pesados en el café preenvasado hechos en diferentes tipos de materiales: metales, biodegradables y plásticos. Las concentraciones de metales pesados estuvieron presentes en todos los cafés analizados, en una concentración de 0,32–211,57 μg / dosis de plomo que representó el 42–79%, mientras que los niveles de Ni (166,25–1950,26 μg / dosis) representaron > 100% de la ingesta diaria tolerable. Estos resultados se suman a las preocupaciones ya presentes relacionadas con las múltiples vías de exposición humana y la presencia de estos contaminantes en los productos de consumo.

Si bien es cierto, en Ecuador han realizado estudios de contaminación de metales pesados en suelos agrícolas y cultivos. En la cuenca baja del río Guayas, los autores Pozo, Sanfeliu, & Carrera (2011), determinaron Cd y Pb en suelos agrícolas y en el arroz, en el cual el plomo se midió en cinco sitios y presentó valores mínimos y máximos de 6,55-8,87 mg/kg en suelos, 3,30-4,40 mg/kg en raíces, 2,01-2,60 mg/kg en tallos y en hojas 1,80-2,00 mg/kg de arroz.

De igual forma, Muñoz et al. (2016), hallaron altas concentraciones de Cd y Pb en el suelo y en las plantas de arroz, llegando a acumular estos metales pesados en los granos de arroz. La máxima concentración de Pb en el suelo fue de $40,34 \pm 7,77$ mg/kg, en raíces $15,19 \pm 5,50$ mg/kg, en hojas $12,93 \pm 3,78$ mg/kg y en granos $10,69 \pm 1,98$ mg/kg, de los cuales la concentración hallada en el suelo fue 2 veces por encima del LMP establecido en el TULSMA (19 mg/kg Pb) y en el caso del cereal supera 53 veces el LMP según la Unión Europea (0,2 mg/kg Pb).

Por otro lado, López (2017), comprobó que existe contaminación por cadmio y plomo en el grano de soya, en la soya en polvo y líquida en donde se encontró concentraciones de $0,183 \pm 0,044$ mg/kg/Cd y $3,066 \pm 1,240$ mg/kg/Pb en grano, de $0,151 \pm 0,043$ mg/kg/Cd y $6,390 \pm 2,470$ mg/kg/Pb en polvo y $0,496 \pm 0,038$ mg/kg/Pb en soya líquida, siendo el límite máximo permisible 0,20 mg/kg para Cd y Pb según la Unión Europea.

Finalmente, por todos estos antecedentes mencionados, se cree que el café podría estar contaminado con plomo, el mismo que pudiera estar en el producto final.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Metales pesados

Son elementos con pesos atómicos altos tales como el mercurio, cromo, cadmio, arsénico y plomo; estos pueden ser nocivos a los seres vivos en pequeñas concentraciones y tienden a acumularse en la cadena alimenticia (Agencia de Protección Ambiental, 2016).

Los metales pesados se encuentran de manera natural en concentraciones, que, por lo general, no perjudican las diferentes formas de vida. Estos metales no pueden ser degradados o destruidos, pueden ser disueltos por agentes físicos y químicos y ser lixiviados (Londoño et al., 2016). Sus características más comunes son: persistencia, bioacumulación, biotransformación y elevada toxicidad, por lo cual hace que se encuentren en la naturaleza por largos periodos, ya que su degradación natural es difícil (Rodríguez, 2017).

La contaminación por metales pesados en suelos es una preocupación para la producción agrícola debido a los efectos adversos que provoca en la calidad de los cultivos (Reyes, Pierre, Guridi, & Valdés, 2014).

Las principales fuentes de contaminación se encuentran en la minería, la metalúrgica, la agricultura, los vehículos automotores y el aporte natural en ciertos acuíferos (Covarrubias & Peña, 2017). La acumulación de metales en los suelos agrícolas provoca no sólo la contaminación, sino también consecuencias para la calidad y seguridad alimentaria (García, Lima, Ruiz, Santana, & Calderon, 2016).

2.2.2. Plomo

Según Elika (2013) y Poma (2008), el plomo es un metal pesado, blando, gris azulado, estable, presente en la atmósfera y resistente a la corrosión. Su uso general ha dado lugar a nivel mundial generando un porcentaje considerable de contaminación al ambiente y a su vez exponiendo a la salud humana (OMS, 2018).

Las fuentes de contaminación se encuentran de manera natural y antropogénica (Elika, 2013). Como fuentes antropogénicas tenemos la explotación minera, la metalurgia, las actividades de fabricación, reciclaje, y gasolina con plomo (OMS, 2018). Además se encuentra en muchos productos, como vidrieras, pigmentos, vajillas de cristal, productos cosméticos, esmaltes cerámicos, material de soldadura, juguetes, y pinturas (OMS, 2018).

En las industrias, los compuestos más importantes de plomo son óxidos y tetraetilo de plomo, además forma aleaciones con estaño, cobre, arsénico, bismuto, cadmio y sodio (Londoño, Londoño, & Muñoz, 2016).

De manera natural, el plomo se encuentra en la corteza terrestre y se distribuye en el ambiente por fuentes fijas (García, Méndez, Pásaro, & Laffon, 2010). La mayor parte del plomo en el aire, se halla bajo la forma de partículas finas; estas son liberadas a la atmósfera en forma de gases, vapores o partículas sólidas que se mantienen en suspensión (Price et al., 2010). En las capas superiores del suelo se puede encontrar este metal fácilmente por el uso de fertilizantes, pero su forma natural está en las capas profundas de la corteza terrestre (Blanco et al., 2014). El exceso de plomo en el ambiente causa alteraciones en las plantas y degrada el suelo, lo cual disminuye su productividad provocando así la desertificación (Eróstegui, 2009).

El plomo se inmoviliza por la materia orgánica, de tal manera que la cantidad disponible para las plantas es baja y este se encuentra en los primeros 5 cm superficiales. Por lo tanto, la adición de ácidos orgánicos puede incrementar su solubilidad y aumentar el transporte de Pb desde la raíz hacia órganos aéreos (Sharma & Dubey, 2005).

Así mismo, algunos complejos entre Pb y grupos carboxílicos presentes en el sistema radicular, pueden entrar a las raíces, a pesar que dicho mecanismo no está totalmente definido. Cuando este metal está dentro de las raíces, se une a los sitios de intercambio iónico en las paredes celulares, o llega a precipitarse como fosfatos o carbonatos (Sharma & Dubey, 2005). Sin duda a la agricultura se la considera como otra fuente de contaminación especialmente por el uso de fertilizantes y plaguicidas (Gupta & Lu, 2013).

La toxicidad del Pb en las plantas está coligada a la reducción de la tasa de germinación y crecimiento radicular, reducción de la tasa fotosintética y poco rendimiento en la producción de biomasa (Sharma & Dubey, 2005).

2.2.3. Plomo en los alimentos

Rubio et al. (2004) y Elika (2013), explican que la contaminación con plomo en alimentos se da a través del medio ambiente, de tal manera que se deposita en el suelo y agua, acumulándose en los cultivos, organismos terrestres y acuáticos.

La principal vía de transmisión de la población al plomo es por consumo directo de alimentos de origen animal y vegetal con altas concentraciones de dicho metal pesado (Elika, 2013). Sin embargo, las zonas industriales y zonas agrícolas adyacentes a las grandes rutas de las autopistas son fuentes de contaminación en los alimentos (Rubio et al., 2004).

Pernía et al. (2015), realizaron un estudio sobre las concentraciones de plomo y cadmio en leches líquidas y en polvo comercializadas en Guayaquil. Los valores para la leche en polvo fueron Pb ($5,450 \pm 2,474$ ppm) y Cd ($0,333 \pm 0,176$ ppm) superando así los límites máximos permisibles por las normas nacionales e internacionales.

Por otro lado, Dávila (2017), halló altas concentraciones de plomo y cadmio en jugos de naranja (*Citrus sinensis*) expendidos de forma ambulatoria en Perú superando los valores límites permisibles admitidos por Mercosur y la Comunidad Europea cuyo valor es 0,05 mg/kg.

En el estudio realizado por Alcívar (2018), en los derivados de la caña de azúcar se determinó que los niveles de Pb fue $4,32 \pm 0,37$ mg/kg en la caña, y en la marca M1, la panela presentó una concentración de $2,3 \pm 1,04$ mg/kg, y la azúcar blanca fue $1,6 \pm 0,74$ mg/kg, las cuales superaron los límites máximos establecidos en la normativa internacional y nacional que fue 0.5 mg/kg.

2.2.4. Efectos de plomo en la salud

La exposición del plomo en el ambiente es un problema de salud pública a escala mundial, y se estima que es la causa de 143.000 muertes cada año (Azcona, Ramírez, & Vicente, 2015).

El plomo puede afectar adversamente a los sistemas: nervioso, inmunológico, reproductivo y cardiovascular (Needleman, 2004). Según la Organización Mundial de Salud (2018), el Pb se dispersa por el organismo hasta afectar al hígado, cerebro, riñones y huesos, de tal manera que con el pasar del tiempo se va acumulando en los dientes.

La absorción del plomo depende del tránsito gastrointestinal, estado nutricional y edad; esto se produce principalmente por medio de los sistemas respiratorio y gastrointestinal. Por lo tanto, el 99% de plomo se retiene en la sangre entre 30 y 35 días (Azcona et al., 2015).

Poma (2008), menciona que los niños generalmente absorben una mayor proporción del plomo y con un efecto más severo que los adultos, porque están en un proceso activo de desarrollo y por ciertas características fisiológicas, patológicas y de conducta.

En los niños presentan diferentes efectos del plomo como son la disminución del coeficiente intelectual, la hiperactividad, problemas de desarrollo y el deterioro mental, mientras que en las personas adultas los efectos pueden ser la debilidad de articulaciones, anorexia y pérdida de memoria. Sin embargo, la presencia de este metal durante el embarazo cruza por la placenta y esto provoca partos prematuros, peso bajo en el niño y la muerte intrauterina (Gupta & Lu, 2013).

2.2.5. Plaguicidas

FAO (2014), define plaguicidas a cualquier sustancia o mezcla de sustancias con ingredientes químicos o biológicos destinados a repeler, destruir o controlar cualquier plaga o a regular el crecimiento de las plantas.

Los pesticidas son un grupo de agentes químicos capaces de actuar como pro-oxidantes y a nivel del material genético, generando efectos nocivos en diversos tejidos y órganos. Estos representan un riesgo potencial para la salud de los agricultores expuestos y para el medio ambiente (Simoniello, Kleinsorge, & Carballo, 2010).

En el mundo se utilizan más de 1000 plaguicidas, son altamente peligrosos, pueden causar efectos tóxicos agudos o crónicos, y plantean riesgos

específicos para los niños. Algunos de los plaguicidas más antiguos y baratos pueden permanecer durante años en el suelo y el agua como por ejemplo el diclorodifeniltricloroetano (DDT) y el lindano (OMS, 2018).

Los cultivos y los centros de almacenamiento y distribución de alimentos están amenazados por plagas variadas, desde insectos voladores o caminadores, hasta malezas, roedores y hongos (Wolansky, 2011). El uso de plaguicidas en la agricultura se ha prohibido en los países desarrollados, pero se continúan utilizando en muchos países en desarrollo (OMS, 2018).

Según Yucra et al., (2008), los plaguicidas órganofosforados (OP) son de alto riesgo de exposición ocupacional y no ocupacional como los expendedores y aplicadores de pesticidas órganofosforados esto es debido a su frecuente uso en la agricultura y en el ambiente doméstico, estos afectan al sistema reproductor masculino actuando como tóxicos testiculares que causan alteraciones citotóxicas y citocinéticas reversibles en las células germinales, alteran la síntesis de andrógenos y la calidad seminal en los trabajadores expuestos a OP, sobre todo los individuos dedicados a la actividad agrícola.

También se ha descrito que los pesticidas pueden contener altas concentraciones de plomo, representando otra fuente de contaminación de los suelos agrícolas (Martí et al., 2009).

2.2.6. Fertilizantes

Disagro (2013), indica que los fertilizantes son compuestos de origen natural o artificial, que proveen a las plantas uno o más nutrientes necesarios para su desarrollo, crecimiento, reproducción u otros procesos. Según la FAO; Asociación Internacional de la Industria de Fertilizantes (IFA), (2002), el uso de fertilizantes es uno de los factores más importantes, para aumentar la productividad del suelo y la agricultura sostenible. A nivel mundial podría aumentar por encima de los 200,5 millones de toneladas en 2018, un 25 por ciento más que el registrado en 2008 (FAO, 2015).

La calidad física de un fertilizante es determinada por el rango del tamaño de sus partículas (productos tamizados), su densidad/dureza, su resistencia a la humedad y al daño físico; mencionando así que la urea tiene un volumen mayor

por unidad de peso que los otros fertilizantes (FAO; Asociación Internacional de la Industria de Fertilizantes (IFA), 2002).

Asociación Española de Fabricantes de Agronutrientes (2017), define que los fertilizantes orgánicos son normalmente de origen animal o vegetal, mientras que los abonos minerales son sustancias de origen mineral, producidas bien por la industria química o por la explotación de yacimientos naturales.

En la planta de café los elementos primarios (N y K), son los más consumidos, por lo tanto, es necesario devolver al suelo por medio de fertilizantes. Mientras que los elementos secundarios (Mn, Fe, B, Zn, Cu, Mo) se necesita en pequeñas cantidades. El exceso o falta de cualquiera de estos elementos, puede ser perjudicial para la planta (León, 2011).

En un estudio realizado por Martí, Burba, & Cavagnaro (2002), determinaron la presencia de metales pesados en fertilizantes fosfatados, nitrogenados y mixtos. En el cual los valores más altos que se registraron fue plomo 21,5 mg/kg en un fertilizante completo y 30,30 mg/kg de cadmio en un superfosfato triple.

2.2.7. Procesos para la elaboración del café industrial

En la producción de café el uso de fertilizantes es muy importante ya que aportan nutrientes al terreno para el crecimiento de la planta. A través de la correcta elección del tipo de fertilizante y sus características se pueden obtener excelentes resultados en la calidad del fruto (Cárdenas & Pardo, 2014).

En cuanto a la cosecha, el café arábico tarda entre seis y ocho meses para que sus frutos estén maduros. Las floraciones son inducidas cuando la planta sufre un stress hídrico seguido de lluvias. En los periodos de cosecha las prácticas de recolección favorece el uso de maquinarias sofisticadas, que, en cualquier caso, implica la recolección de frutos en óptimo estado de madurez (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2010).

La etapa de Beneficio consiste en dar un mejoramiento a la calidad de la taza de café, para lo cual existen dos métodos a elegir que son: método húmedo y método seco en donde el café cereza se convierte en café pergamino. El primer método también llamado café lavado, se utiliza especialmente en el Café Arábico

de alta Calidad, con el fin de conservar todas sus propiedades, por tal razón, es el más costoso y complejo al mismo tiempo. Todo este método tiene consecuencias como la generación de residuos (Pulpa) y aguas mieles (FAO, 2012; Cárdenas & Pardo, 2014).

Mientras que el método seco es más sencillo y barato, se emplea a semillas de café con menor calidad, este consiste en extender el grano en capas delgadas sobre un área de concreto o plástico dando un movimiento continuo, con la intención de que se seque rápido para tener un ciclo de secado uniforme, este proceso dura de 15-20 días, se realiza de manera natural únicamente con el sol para remover la piel seca y el mucílago, obteniendo así el café pergamino (FAO, 2012; Cárdenas & Pardo, 2014).

Cabe resaltar que el método húmedo consta de varias etapas (FAO, 2012). Iniciando con la recepción, etapa donde los granos son recogidos en un tanque (Sifón) lleno de agua para evitar que el fruto comience a fermentar. Se eliminan todas las impurezas y se selecciona por su densidad; posteriormente la materia prima pasa al área de despulpado, en esta etapa se da la separación de la pulpa y cascarrilla del grano de café (Aguilar, Houbroun, Rustrian, & Reyes, 2014).

Luego de obtener los granos de café del despulpe, estos pasan a la fermentación, teniendo una duración aproximadamente de 24 horas, en ella se elimina el mucílago debido a que es insoluble en agua, existen dos maneras de retirarlo: fermentación natural y por lo general remoción químico-mecánica. Inmediatamente se da paso al lavado, se debe lavar con agua limpia tantas veces sea necesario para la remoción de los residuos de mucílago (Aguilar et al., 2014).

El secado es la etapa que consiste en reducir la humedad del grano de 52,0 al 12,0%, al concluir el secado del café, se requiere mínimo tres horas para homogeneizar la humedad. En esta etapa se tiene como producto café oro y se transporta a las bodegas de almacenamiento (Aguilar et al., 2014).

Dentro del método húmedo, el trillado es el último proceso donde el café pergamino se transforma en café almendra o verde, ya sea para exportación o tostión según sea el caso (Duicela et al., 2010).

La torrefacción o tuestión, consiste en tostar el café por medio del calor, al tostarse presentan cambios físicos como: pérdida de peso, color, aumento del volumen, descomposición de la sacarosa, almidones y dextrinas en azúcares, pérdidas de cafeína del grano, generación de dióxido (López, Mejoramiento de rendimiento en el proceso de extracción de café de la empresa Decafé S.A., 2003). Cuando la temperatura alcanza los 230°C, es el momento justo de retirar el café del tostador. Una vez logrado el punto de tostado pasa a un plato de enfriamiento dando así por concluido el proceso solo queda en ser empacado directamente en grano o ser enviado a los molinos (Figuroa, Pérez, & Godínez, 2015).

Si se expone el café por mucho tiempo y a una temperatura mayor a la recomendada se pierden todas las propiedades organolépticas del producto (López, Mejoramiento de rendimiento en el proceso de extracción de café de la empresa Decafé S.A., 2003). Por esta razón se debe tener mucho cuidado antes, durante y después de tostarlo (Figuroa et al., 2015).

La molienda de café es un proceso donde se combinan partículas de diferentes tamaños, entre más fina sea la molienda habrá una mayor extracción de compuestos aromáticos que se venderán como café instantáneo (Cardenas & Pardo, 2014; Figuroa et al., 2015). Existen tres grados de molienda comercial: grueso, medio y fino; los productores sugieren un molido grueso para cafetera percoladora, molido medio para cafeteras de filtro y molido fino para preparar café tipo express (Figuroa et al., 2015).

Por último, tenemos el envasado, el cual permite mantener a los alimentos limpios, secos y ayuda a protegerlos de agentes ambientales dañinos como el agua, aire o luz. Por lo tanto, es recomendable que el café en grano se coloque en bolsas de papel con recubrimiento interior de cera, LDPE o PET. El café molido es normalmente envasado en laminados de PET/foil/LDPE. Mientras que el café tostado se conserve en envases herméticos, que no puedan ser alcanzados por la luz y la humedad, ya que estos factores son perjudiciales para la calidad del café tostado (Figuroa et al., 2015).

Tanto para el café tostado como para el molido, se recomienda que los empaques tengan una válvula que permita salir los gases que suelta el café, de

lo contrario éste perderá muy rápido sus cualidades. Todo envase requiere de un nombre para el producto, lo que sería propiamente la marca (Figueroa et al., 2015).

2.2.8. Procesos de café artesanal

El cultivo de café se lleva a cabo en una superficie menor a 10 hectáreas. La variedad de café que más consumen los artesanos es el cafeto arábico, por su alta calidad. A partir del segundo año el cultivo empieza a florecer, después de seis a ocho meses sus frutos empiezan a madurarse, por lo tanto, se procede dar inicio a la cosecha recolectando las cerezas en forma manual, en un área de concreto se coloca el fruto para dejarlo secar bajo el sol, esto se realiza de dos a tres meses. Luego del secado se coloca al porrón (recipiente de madera con cavidad) donde se ejecuta varios golpes con el fin de sacar la cascara, para separar estos residuos se utiliza un recipiente y abanico obteniendo así el grano de café.

El proceso de tueste consiste en someter los granos a una fuente de calor, lo que produce que cambie su color, el café se agrieta adquiriendo así su forma característica. La presencia de humo blanquecino y su aroma exquisito es una señal de que el grano está listo. Para continuar con la molienda se debe dejar enfriar por unos minutos, mientras tanto se regula el molino artesanal generalmente de acero inoxidable para obtener la textura deseada.

2.3. Marco legal

La Constitución de la República del Ecuador establece en el artículo 13, que: “Las personas y colectividades tienen derecho al acceso seguro y permanente a alimentos sanos, suficientes y nutritivos; preferentemente producidos a nivel local y en correspondencia con sus diversas identidades y tradiciones culturales” (Asamblea Nacional del Ecuador, 2008).

Por otro lado, el artículo 281, en el inciso 13 sobre la soberanía alimentaria, se recalca que se deberá prevenir y proteger a las personas sobre el consumo de alimentos contaminados los cuales ponen en riesgo la salud o que la ciencia tenga incertidumbre sobre sus efectos (Asamblea Nacional del Ecuador, 2008, pg. 91).

De igual manera, el Plan Nacional de Desarrollo establece impulsar la producción de alimentos suficientes y saludables, así como también la existencia y acceso a mercados y sistemas productivos alternativos, que permitan satisfacer la demanda nacional con respeto a las formas de producción local y con pertinencia cultural (Plan Nacional de Desarrollo. Toda una Vida, 2017, pg. 87).

El Acuerdo Ministerial 097-A tiene como objetivo preservar la salud de las personas y velar por la calidad ambiental del recurso suelo a fin de salvaguardar las funciones naturales en los ecosistemas, frente a actividades antrópicas (Acuerdo Ministerial 097-A, 2015). Dentro de esta norma ambiental establecen criterios de calidad del suelo en parámetros inorgánicos y orgánicos (Acuerdo Ministerial 097-A, 2015, pg. 35).

La Union Europea establece los niveles máximos de diferentes metales pesados en productos alimenticios destinados al consumo humano (Union Europea, 2017, pg.11)

El reglamento técnico MERCOSUR establece los niveles máximos de contaminantes inorgánicos en alimentos aplicando tecnologías apropiadas en la producción, manipulación, almacenamiento, procesamiento y envasado, a fin de evitar que un alimento contaminado sea comercializado o consumido. (MERCOSUR, 2011, pg.3).

La Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria establece los mecanismos para garantizar a las personas alimentos sanos y nutritivos, se constituye por conjunto de normas conexas para establecer políticas públicas agroalimentarias para iniciar el consumo de alimentos sanos a través de toda la cadena alimentaria (Asamblea Nacional del Ecuador, 2010). Además, en el Art. 3, uno de los deberes del Estado será:

Incentivar el consumo de alimentos sanos, nutritivos de origen agroecológico y orgánico, evitando en lo posible la expansión del monocultivo y la utilización de cultivos agroalimentarios en la producción de biocombustibles, priorizando siempre el consumo alimenticio nacional (Asamblea Nacional del Ecuador, 2010, pg. 5).

Por otro lado, sobre la investigación, asistencia técnica y diálogo de saberes, el Art. 09 menciona que:

El Estado asegurará la investigación participativa y la creación de un sistema de extensión, a fin de proporcionar una asistencia técnica, sustentada en un diálogo e intercambio de saberes con los pequeños y medianos productores, valorando el conocimiento de mujeres y hombres (Asamblea Nacional del Ecuador, 2010, pg.7).

Mientras que el artículo 10 el Estado fomentará la participación de las universidades y colegios técnicos agropecuarios en la investigación acorde a las demandas de los sectores campesinos, así como la promoción y difusión de la misma (Asamblea Nacional del Ecuador, 2010, pg.8).

La Norma Técnica INEN 1122:2013 establece los requisitos que debe cumplir el café soluble o instantáneo. En esta norma regulan la concentración máxima permitida de contaminantes en el producto (NTE INEN 1122, 2013).

CAPÍTULO III

3.1. Metodología

3.1.1. Colecta y número de muestras

Se colectaron muestras por triplicado ($n=3$) de café industrial (CC, CV) y café artesanal (CA) en grano, molido e infusión. Las muestras de café en grano de las tres marcas antes mencionadas se obtuvieron de tres cantones de la provincia de Loja, estos granos fueron de la variedad arábica. Por otro lado, las muestras de café molido se adquirieron del supermercado X, mercado Y y venta familiar, tomando en cuenta el lote de cada una de ellas a excepción del café artesanal. Por último, las muestras de infusión se transportaron a la provincia del Guayas. Este muestreo se realizó con base en la Normativa Ecuatoriana NTE INEN 1122.

Finalmente, se obtuvo una muestra triplicada de suelo de cada marca de café para identificar si la posible contaminación por Pb proviene del suelo.

3.1.2. Diseño experimental

Se recolectaron muestras de café industrial y artesanal en café en grano, café molido e infusión comercializadas en la provincia de Loja. Las marcas fueron: CC, CV y CA. Se colectaron 9 muestras de café en grano, 9 muestras de café molido, 9 muestras en infusión y 9 muestras de suelo, dando como resultado 36 muestras en total. Posteriormente fueron enviadas al Laboratorio Analítica Avanzada – Asesoría y Laboratorios ANAVANLAB en la ciudad de Quito.

3.2. Método de campo

3.2.1. Toma de muestra

Las muestras de café en grano provienen de la planta de café arábica, donde se cosechó los frutos rojos que indican que están aptos para ser cultivados (Figura 2), luego de esto los granos pasaron por un lapso de tiempo aproximadamente dos meses expuestos al sol para obtener el grano seco (Figura 3).



Figura 2. Planta de café Arábigo
Fuente: (Viñan, 2018)



Figura 3. Recolección de café en grano
Fuente: (Viñan, 2018)

Por otro lado, las muestras de café molido industriales se compraron en los mercados de la provincia de Loja, y el café artesanal se realizó de manera tradicional (Figura 4).



Figura 4. Café molido artesanal
Fuente: (Viñan, 2018)

Las réplicas de suelo tanto industrial como artesanal fueron recolectadas a 10 cm de la planta y se excavó 15 cm de profundidad (Figura 5), estas muestras se realizaron en forma de zig-zag, no obstante, tomando en cuenta otras medidas mencionadas en la guía técnica de muestreo de suelo realizada por Mendoza & Espinoza (2017).

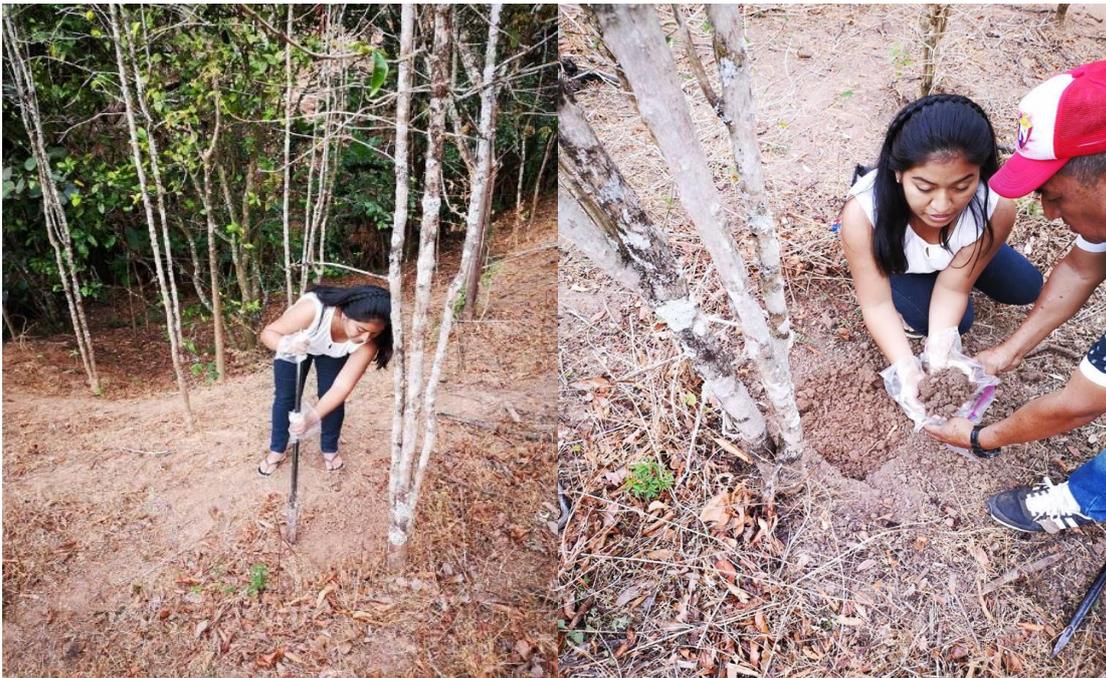


Figura 5. Toma de muestra de suelo
Fuente: (Viñan, 2018)

3.2.2. Procesamiento de muestras

3.2.2.1. Café en grano y molido

Para las réplicas de café en grano y café molido de las tres marcas antes mencionadas se utilizó fundas ziploc medianas para luego pesar 500 gr de cada una en la balanza, después se describió el código junto al número de lote de cada replica. El procedimiento del café en grano y molido de la marca CC se observa en la Figura 6 y Figura 7.



Figura 6. Peso de la muestra de café en grano de la marca CC-M2
Fuente: (Viñan, 2018)



Figura 7. Peso de la muestra de café molido de la marca CC-M1
Fuente: (Viñan, 2018)

3.2.2.2. Infusión

En la infusión se hirvió 2 litros de agua, después de unos minutos se procede a colocar el filtro de tela en un recipiente añadiendo 9 cucharadas de café molido obteniendo así el café líquido, este proceso se realizó tres veces para obtener las muestras triplicadas de cada marca. Tomando en cuenta que cada envase de vidrio fue de 500 ml (Figura 8).



Figura 8. Muestra de café líquido de la marca CC-M1
Fuente: (Viñan, 2018)

3.2.2.3. Suelo

Las muestras de suelo se recolectaron en fundas de ziploc para luego ser llevadas a la balanza y pesar 1 kg, cada muestra fue descrita con su código respectivo (Figura 9).



Figura 9. Peso de la muestra de suelo marca CC-M1
Fuente: (Viñan, 2018)

3.2.2.4. Transporte de muestra

Todas las réplicas de café en grano, molido y suelo, artesanal e industrial se procedió a guardarlas en un cartón por orden de cada marca. Las réplicas de infusión fueron envueltas con film alveolar o también llamado plástico de burbuja para su mayor seguridad y ser transportadas al Laboratorio.

3.3. Método de laboratorio

La método que se utilizó fue el de Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA), siendo una de las técnicas más usadas para la identificación de más de 60 elementos, principalmente en el rango de $\mu\text{g/ml}$ - mg/L en una gran variedad de muestras (Blago, 1994).

Este método se basó en la metodología estándar de la EPA 7000 A: “Métodos de Absorción Atómica” y además en el método EPA 3051: “Digestión Ácida”.

La espectroscopia de absorción atómica con llama es el método más utilizado para la determinación de metales en una extensa variedad de matrices. Su uso se debe a su especificidad, sensibilidad y facilidad de operación. En este método la solución muestra es directamente aspirada a una llama de flujo laminar.

Los espectrofotómetros de absorción atómica poseen generalmente monocromadores de red con montaje de Littrow o de Czerny-Turner. Y como detector, se emplea un fotomultiplicador que origina una corriente eléctrica, la cual es proporcional a la intensidad de la línea aislada por el monocromador. Finalmente, la muestra pasa a un dispositivo de lectura que puede ser un voltímetro digital o un registrador (Blago, 1994).

3.3.1. Manejo de muestras

Las muestras sólidas fueron recolectadas y luego de esto se procedió a refrigerar aproximadamente a 4°C. El tiempo máximo de las muestras digeridas se efectuaron durante 10 días. Las condiciones ambientales durante el proceso de ensayo fueron entre 15 y 30°C y humedad relativa entre 20 y 80%.

3.3.1.1. Equipos e insumos

Equipos

Los equipos que se utilizaron para el análisis fueron:

- Espectrofotómetro de absorción atómica.
- Balanza analítica con resolución de 0.1 mg, calibrada.
- Pipeta automática, horno microondas y estufa.

Materiales

Los materiales que se utilizó para el procedimiento del análisis se mencionan en el siguiente listado basado en la guía metodológica del laboratorio Analítica Avanzada - ANAVANLAB CIA. LTDA, (2015).

- Cabeza de mechero para llama aire - acetileno y para llama óxido nitroso.
- Balón aforado de 25, 50 y 100 mL clase A, verificada.
- Pipeta volumétrica de 1, 2, 5 y 10 mL clase A, verificada.
- Embudos de vidrio
- Viales de teflón para digestión por microondas
- Probeta de 10 mL

3.3.1.2. Reactivos

- Cloruro de Potasio
- Ácido nítrico concentrado al 65%
- Ácido sulfúrico y ácido clorhídrico concentrado
- Peróxido de hidrógeno 30%

3.3.2. Preparación de las muestras

Antes de empezar con el análisis se establece las condiciones ambientales antes mencionadas. Luego se colocó el código a cada material volumétrico para mantener identificada a cada replica a lo largo del proceso. Antes de analizar cualquier muestra se procedió a homogenizar.

Para aplicar el método de espectrofotometría de absorción atómica, las réplicas fueron previamente tratadas con una digestión ácida con ácido nítrico concentrado al 65% (Merck) según el método EPA 3051. Estas muestras fueron digeridas para disminuir las interferencias de los residuos sólidos para luego proceder al análisis.

3.3.2.1. Digestión ácida asistida por hornos microondas

Se inició colocando los viales de digestión estando secos y limpios dentro de las chaquetas señaladas, para realizar este tratamiento por triplicado se pesó 0,50 g de muestra en cada vial de digestión. Se añadió a cada vial 10 ml de ácido nítrico concentrado y se realizó un blanco únicamente con ácido nítrico.

El disco de liberación de presión fue colocado y tapado sobre los viales, de la misma forma la manguera de ventilación fue llevada a una campana de extracción y en el equipo se distribuyeron las muestras. Posterior al enfriamiento de los viales fueron transferidos uno por uno a un embudo de vidrio con papel filtro, luego se recolectó el filtrado en un balón aforado de 25 mL clase A. Por último, la digestión por duplicado se realizó cada diez muestras para los controles de reproducibilidad y repetibilidad.

3.3.2.2. Digestión ácida asistida en plancha de calentamiento

Para este mecanismo se utilizó ácido clorhídrico concentrado (Merck) para cada réplica. Se pesó 3,0 g aproximadamente en un Erlenmeyer de 250 mL, posterior a esto se adicionó 10 mL de ácido clorhídrico concentrado y agua desionizada, añadiendo a su vez de uno a tres núcleos de ebullición a cada Erlenmeyer, seguido a esto se ubicó a la plancha de calentamiento bajo la campana de extracción obteniendo un volumen aproximadamente 10 mL.

3.3.2.3. Lectura de resultados

Todos los resultados se observaron en mg/kg y los valores menores al límite de cuantificación, se los representó como “<0.1”.

3.4. pH del suelo

El análisis de pH fue realizado en la Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Naturales en el IIRN la cual se encuentra acreditado bajo la norma ISO/IEC17025.

Se pesó 5 gr de suelo con su respectivo código para diferenciar cada marca, posteriormente se procedió a colocar 10 ml de agua destilada con una pipeta y luego se agitó hasta tener una mezcla uniforme y se determinó el pH utilizando un pHmetro YSI pH10 (EcoSense®) (Figura 10 y 11).



Figura 10. Peso de la muestra de suelo CV-M2
Fuente: (Viñan, 2019)



Figura 11. Muestras diluidas de la marca CC
Fuente: (Viñan, 2019)

3.5. Análisis de la textura del suelo

El análisis se llevó a cabo para identificar el tipo de suelo que pertenece a cada cultivo de café, con esto podremos conocer la velocidad y retención del agua y aire que tiene cada una de ellas, por lo tanto, se aplicó tres ensayos de campo que fueron elaborados por la FAO.

El primer ensayo fue la prueba de la bola de barro, la cual consistió en tomar una muestra de suelo humedeciendo y amasándola hasta formar una bola de aproximadamente 3 cm de diámetro. Luego se deja secar por varios minutos hasta que la bola esté seca. Para continuar con el proceso se presiona con fuerza la bola con el dedo índice y pulgar para ver cuál de ellas se deshace más rápidamente (FAO, 2018), (Figura 12).

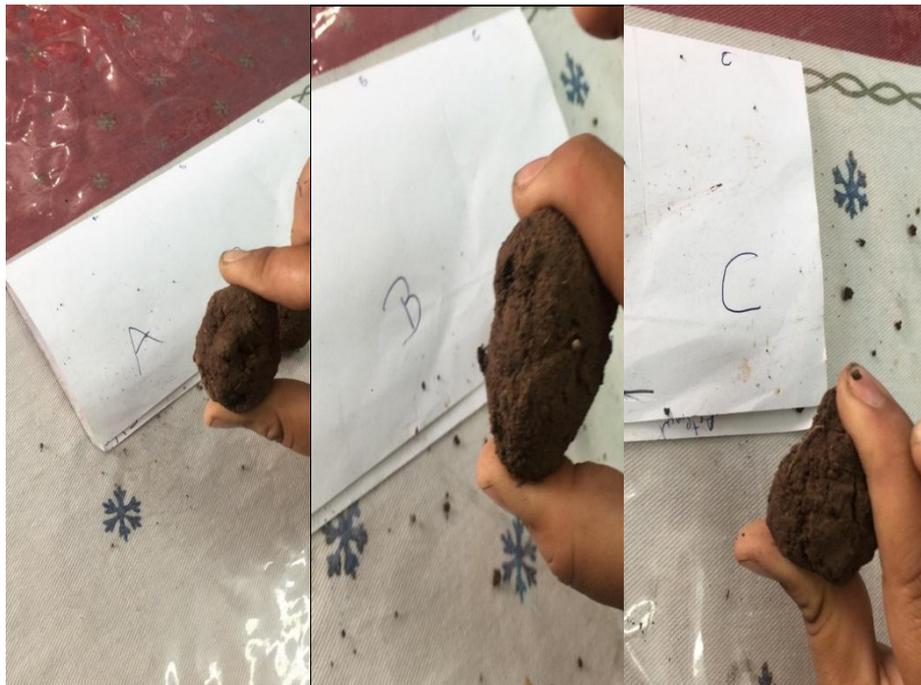


Figura 12. Prueba de la bola de barro
Fuente: (Viñan, 2019)

El segundo ensayo de la FAO (2018), se trató de la comprensión de la bola, este se realizó humedeciendo la bola hasta que se haga compacta, una vez formada la bola se oprimió con fuerza y se abrió la mano, si la bola se desmorona indica que el suelo es pobre y contiene mucha arena, mientras que si la bola mantiene su forma quiere decir que el suelo contiene arcilla (Figura 13).



Figura 13. Prueba de la compresión de la bola
Fuente: (Viñan, 2019)

Por último, se determinó las proporciones aproximadas de arena, limo y arcilla mediante la prueba de la botella. Para realizar esta prueba se utilizó envases de plástico de 500 ml, en la cual se colocó 5 cm de suelo y se llenó un 80% de agua. Seguidamente se agitó hasta mezclar bien y se dejó reposar por 24 horas; transcurrido este tiempo el agua se puso transparente y se presenciaron partículas mayores que se habían sedimentado. Finalmente se observó la formación de tres capas que fue la capa de arena, limo y arcilla y en la superficie hubo presencia de fragmentos de materia orgánica, al obtener esto se procedió a medir cada capa y observar la coloración de cada envase (FAO, 2018), (Figura 14).



Figura 14. Prueba de la botella
Fuente: (Viñan, 2019)

CAPÍTULO IV

4.1. Resultados

4.1.1. Niveles de plomo en café industrial y artesanal

El café arábigo es ampliamente cultivado en Ecuador, el cual se utiliza para comercializarlo de manera artesanal e industrial. En la provincia de Loja las marcas CA y CC presentaron contaminación por plomo en café en grano y café molido a excepción de la infusión (Tabla 1). Los valores mínimos y máximos de Pb en café en grano en la marca CC fueron $<0,10$ mg/kg y 1,49 mg/kg, respectivamente; mientras que en café molido tenemos la marca CA con concentraciones mínimas de 1,01 mg/kg y máxima de 2,22 mg/kg.

Todas las marcas de café industrial y artesanal tuvieron una media \pm desviación estándar en el siguiente orden: café molido CA ($1,61 \pm 0,605$ mg/kg) café en grano marca CA ($0,923 \pm 0,803$ mg/kg), café en grano CC ($0,837 \pm 0,762$ mg/kg), café molido CC ($0,557 \pm 0,964$ mg/kg), y por último en infusión el plomo no fue detectable para ninguna de las marcas.

En el café en grano no existió diferencias significativas con respecto a la concentración de Pb entre las marcas ($F=1,91$; $p=0,228$), de igual manera el café molido no presentó diferencias significativas ($F=4,64$; $p=0,060$), lo que indica que entre el café artesanal (CA) e industrial (CC) no hubo diferencias significativas en el contenido de Pb.

Tabla 1. Concentración de plomo en café en grano, molido e infusión de origen industrial (CC y CV) y artesanal (CA)

Sustrato	Muestra	Pb [mg/kg]				
		Media	Desv.Est.	CV	Mínimo	Máximo
Grano	CA	0,923	0,803	86,98	<0,1	1,46
	CC	0,837	0,762	91,04	<0,1	1,49
	CV	<0,01	<0,01	<0,01	<0,1	<0,1
Molido	CA	1,61	0,605	37,58	1,01	2,22
	CC	0,557	0,964	173,21	<0,1	1,67
	CV	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Infusión	CA	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	CC	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	CV	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

Fuente: (Viñan, 2018)

Nota. CA: Marca 1, CC: Marca 2, CV: Marca 3

En cuanto a la concentración de Pb en suelo, no se observaron diferencias significativas entre las muestras ($F=1,03$; $p=0,423$). El orden de concentración de Pb fue CA ($18,46\pm 7,28$ mg/kg), seguido por CV ($13,97\pm 3,62$ mg/kg) y CC ($13,14\pm 2,34$ mg/kg), (Figura 15). Estos resultados sugieren que la concentración de Pb en el grano podría deberse a la absorción del metal por parte de las plantas a partir del suelo.

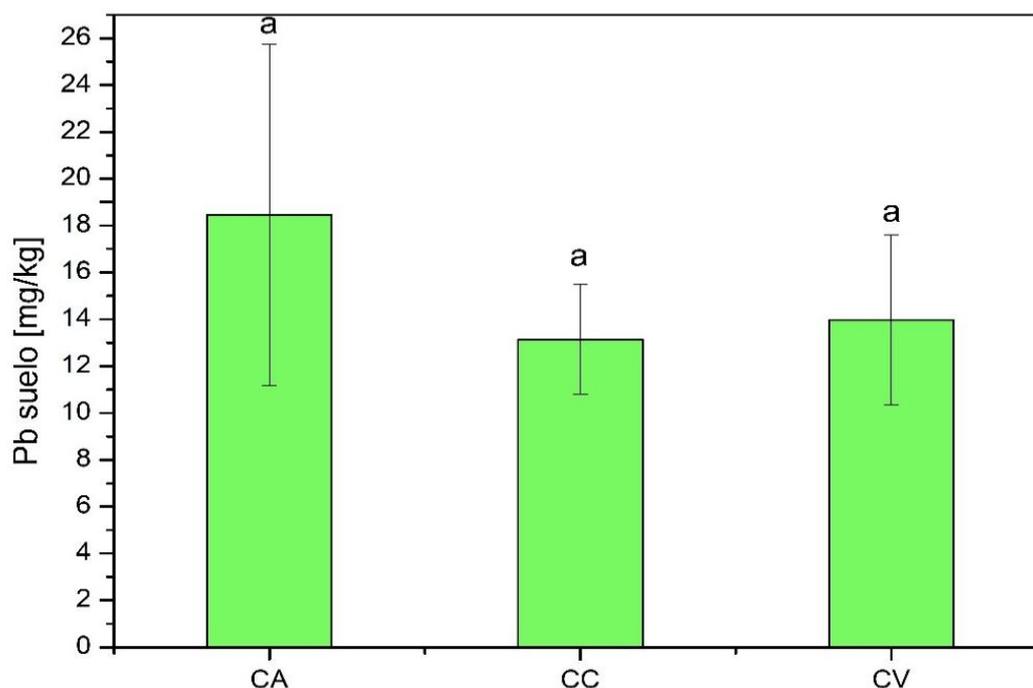


Figura 15. Concentración de plomo en suelo de las marcas: CA, CC y CV
Fuente: (Viñan, 2018)

Nota. Los resultados se expresan como media \pm desviación estándar ($n=3$). Letras iguales demuestran que no existe diferencias significativas según ANOVA de una vía y test a posteriori de Tukey ($p>0,05$)

4.1.2. Comparación de las concentraciones de Pb obtenidas en café en grano, café molido y café en infusión, en base a la normativa nacional e internacional con relación a los límites permisibles establecidos

Se llevó a cabo la comparación de las concentraciones de Pb en las muestras de café en grano y molido, con la normativa nacional e internacional (Figura 2), la normativa nacional que se utilizó para las comparaciones fue la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1122 para café soluble (1 mg/kg), mientras que las normas Internacionales que se emplearon fueron MERCOSUR (2011), para café torrado en granos y polvo (0,50 mg/kg) y café soluble en polvo o

granulado (1 mg/kg), y por último la Union Europea (2017), para café tostado y molido (1 mg/kg).

En la Figura 16, se observó que el café molido de la marca CA superó el límite máximo permisible en todas las réplicas, mientras que en grano la segunda réplica presentó valores no detectables de Pb. En la marca CC se superó el LMP en café en grano en dos de las tres muestras y sólo una de café molido superó el LMP. En la marca CV el Pb no fue detectable en ninguna de las réplicas, ni en café molido ni en grano.

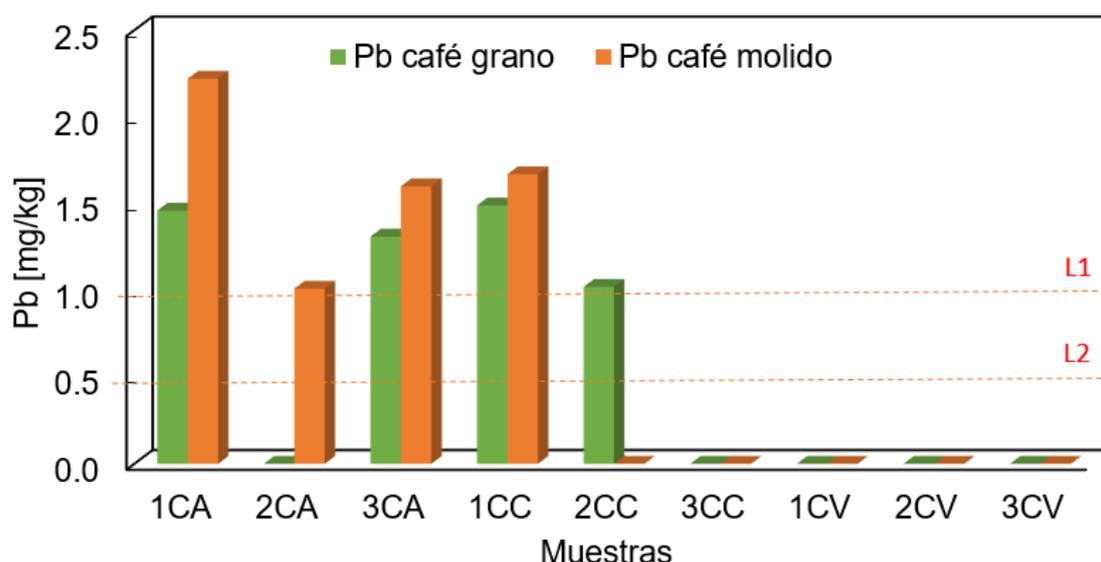


Figura 16. Comparación de las concentraciones de plomo en café en grano y café molido de las marcas CA, CC y CV con la normativa nacional e internacional
Fuente: (Viñan, 2018)

Nota. L1: Límite máximo de la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1122, y Unión Europea; L2: Límite máximo de la Normativa MERCOSUR

De igual manera, se analizó el contenido de Pb en suelo como posible fuente de contaminación del grano de café. El límite máximo permisible para Pb según los criterios de calidad del suelo es de 19 mg/kg según el Acuerdo ministerial 097-A (2015), el cual fue superado por una muestra de CA que contenía 23,60 mg/kg. Además, según la EPA (1996), el valor normal de Pb en suelo es de 10 mg/kg, el cual fue superado en todas las muestras (Figura 17).

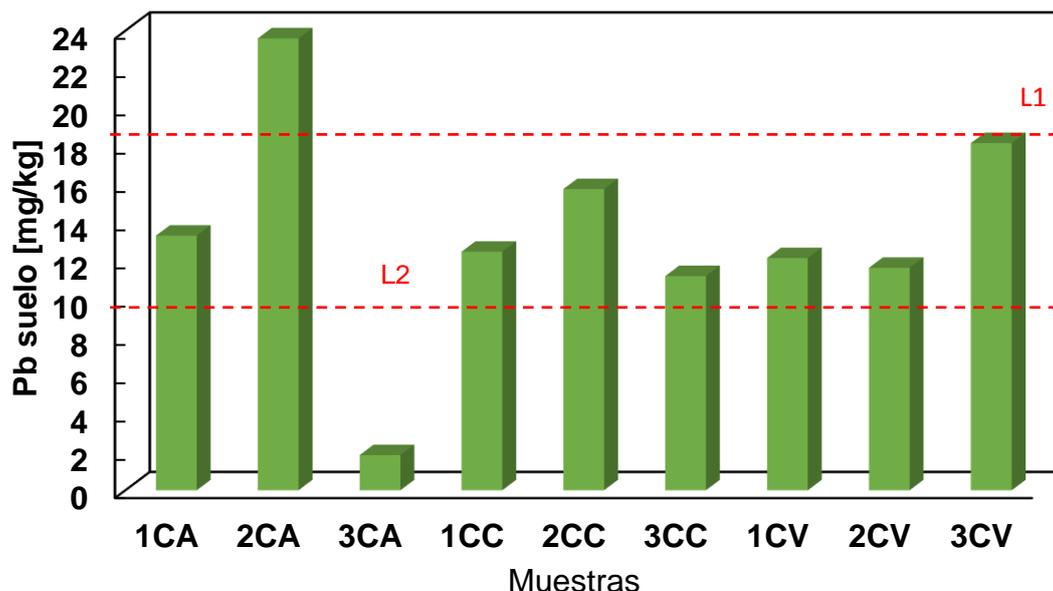


Figura 17. Comparación de las concentraciones de plomo en suelo de las diferentes marcas de café con respecto al Acuerdo Ministerial 097-A y la EPA
Fuente: (Viñan, 2018)

Nota: L1: Límite máximo según el Acuerdo Ministerial 097A; L2: Límite máximo según la EPA.

Finalmente se observó que las concentraciones de plomo en suelo, café en grano y café molido de las marcas CA y CC excedieron los niveles máximos permisibles definidos en la normativa internacional y nacional, por el contrario, la marca CV no presentó contaminación con plomo.

4.1.3. Correlación entre el contenido de Pb, la textura y pH del suelo

Con respecto al pH no se observaron diferencias significativas ($F=3,21$; $p=0,113$) en el suelo de las tres localidades, con valores de $6,63 \pm 0,40$ en CA; $7,2 \pm 0,05$ en CC y $6,73 \pm 0,16$ en CV. Estos valores se pueden observar en la Figura 18.

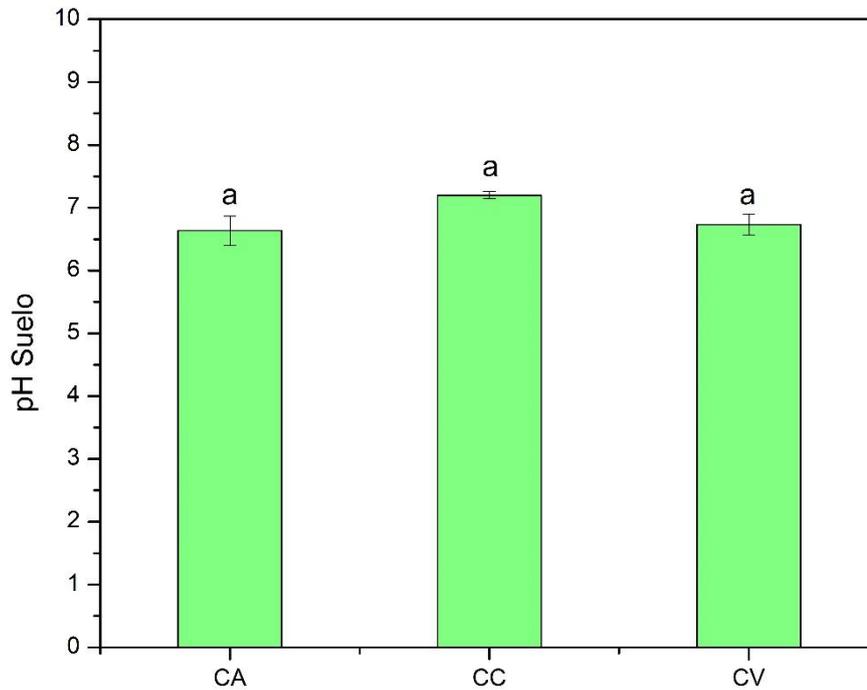


Figura 18. Comparación del pH del suelo donde se cosecha el café de las marcas: CA, CC y CV
Fuente: (Viñan, 2018)

Con respecto a las variables del suelo, de acuerdo a lo establecido por el método de la FAO (2018), se identificó la textura del suelo tomando en cuenta las siguientes características: coloración del agua y materia orgánica flotante, por lo cual se evaluó dependiendo a las condiciones encontradas: Alta (color café oscuro), Media (café marrón) y Baja (café claro).

En base a estas características se pudo observar en la tabla 2, que la marca CA tuvo en un rango de coloración alto por lo que presentó un nivel medio de materia orgánica flotante (MOF), seguido de la marca CV con un rango medio en coloración del agua, pero con poca presencia de MOF; y, por último, tenemos la marca CC en la que se evidenció mayor MOF, pero baja en coloración del agua.

Tabla 2. Características del suelo en base al tercer ensayo de la FAO-2018

Características	Suelo A Marca CA	Suelo B Marca CC	Suelo C Marca CV
Coloración del agua	Alta	Baja	Media
Materia Orgánica Flotante	Media	Alta	Baja
Tipo de Suelo	Franca Arenosa	Franca Arenosa	Franca Arenosa

Fuente: (Viñan, 2019)

Dado a estas características y lo que representa la figura 19 se concluyó que el tipo de suelo de los tres puntos fue Franca Arenosa, ya que las tres marcas antes mencionadas tuvieron un mayor porcentaje de arena entre el 80 y 83%, así mismo el limo en un 14% para todas las marcas; y finalmente, en la arcilla la marca CV se diferenció de las demás por presentar el doble porcentaje que los otros suelos.

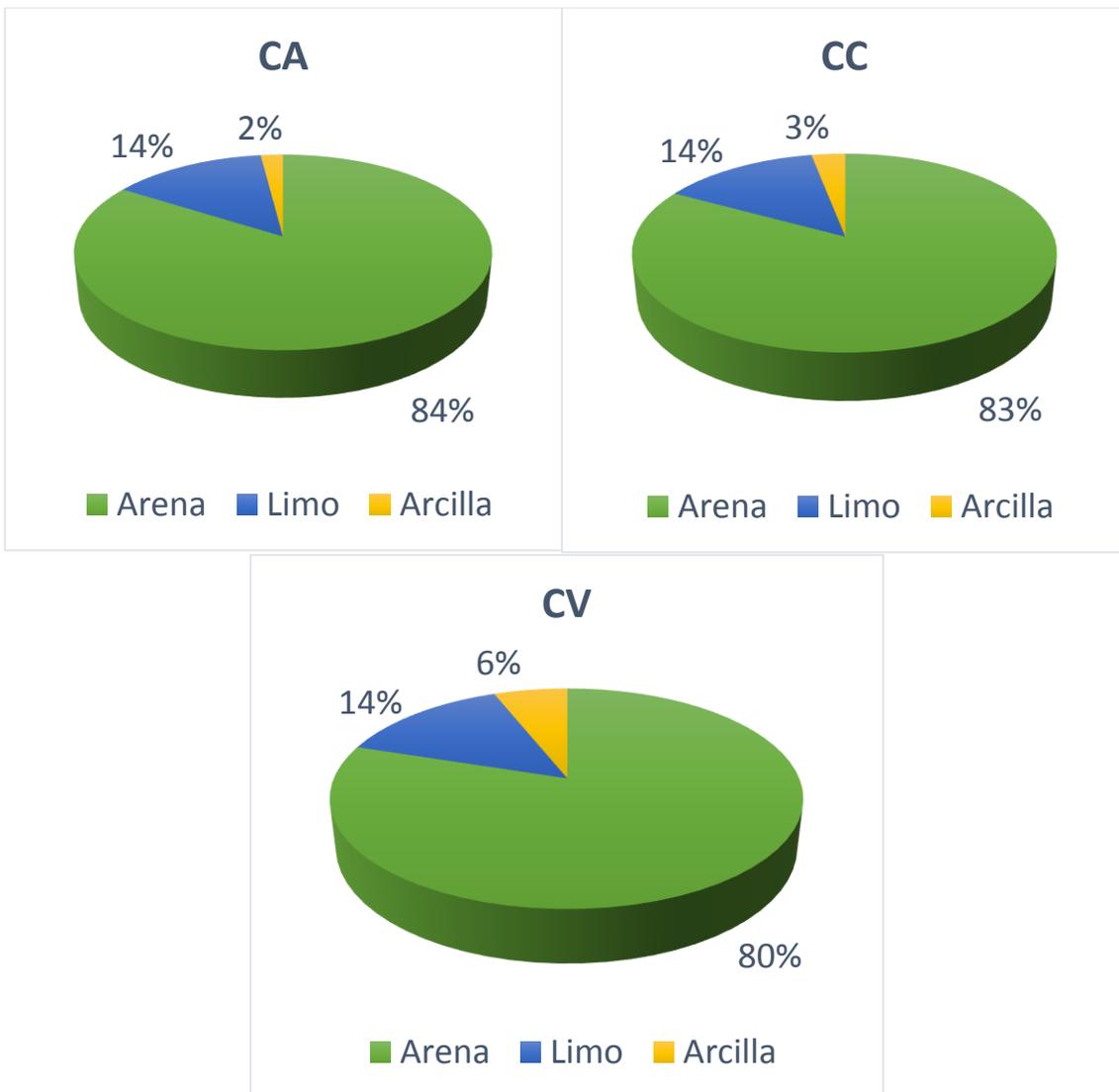


Figura 19. Porcentaje de arcilla, limo y arena en suelo de las marcas CA, CC y CV
Fuente: (Viñan, 2019)

Posteriormente se realizó una correlación de Pearson entre el contenido de Pb del café molido y el % de arcilla de los suelos y se encontró una relación inversamente proporcional entre el porcentaje de arcilla y la concentración de Pb en el café ($r=-0,699$; $p=0,036$), es decir, a mayor proporción de arcilla en el suelo, menor contenido de Pb en el café.

4.2. DISCUSIÓN

Una vez realizado el análisis en café industrial y artesanal comercializado en la provincia de Loja, se encontró niveles máximos de plomo en las siguientes marcas CA (23,6 mg/kg) en suelo, CC (1,49 mg/kg) en café en grano y CA (2,22 mg/kg) en café molido. Todos los valores antes mencionados sobrepasan el límite máximo permisible de las normativas nacionales e internacionales.

Se determinó que la fuente de contaminación del café fue el suelo, ya que se encontraron concentraciones superiores a 10 mg/kg de Pb en todos los suelos analizados que según la EPA es el valor normal. Sin embargo, en el suelo de las marcas CA, CC y CV se hallaron concentraciones de plomo inferiores al límite establecido por los criterios de calidad (19 mg/kg), según el Acuerdo Ministerial 097-A (2015), excepto una de las muestras de CA.

En suelo no se hallaron diferencias significativas en la concentración de plomo de las tres marcas, sin embargo, las plantas transportaron concentraciones muy diferentes de Pb al grano. Para poder explicar estos resultados se analizaron variables que podrían afectar la biodisponibilidad del metal en el suelo. Por esta razón, se midió el pH y se identificó la textura del suelo de cada cultivo. En la marca CC se observó el pH más elevado de 7,2 es decir, que el Pb debería estar menos biodisponible en este suelo en relación a la marca CA, donde se encontró un valor mínimo de 6,2 que junto al hecho de presentar un nivel de plomo mayor al permitido por el Acuerdo Ministerial 097-A (2015) generó una mayor bioacumulación en las plantas de café.

Por otro lado, al analizar la textura del suelo se determinó que es franca arenosa en los 3 lugares, pero en la marca CV se halló el doble porcentaje de arcilla en comparación a las otras marcas. Según Kabata-Pendias (2001), la presencia de arcilla se caracteriza por tener cargas eléctricas principalmente negativas en su superficie por lo que adsorben los metales pesados. Es por ello, que el suelo de la marca CV, aunque tenía altos contenidos de plomo, este debió unirse a la arcilla haciéndose menos biodisponible.

Es importante señalar que aun cuando el suelo presenta concentraciones de Pb dentro de los valores admisibles por la norma ecuatoriana, las plantas lo

están acumulando y transfiriendo al grano, poniendo en peligro la salud de los consumidores.

Se han descrito altas concentraciones de Pb en suelos agrícolas en Ecuador. De acuerdo con lo antes mencionado, un estudio de Barraza et al. (2018), determinó que los suelos ecuatorianos presentan altas concentraciones de Ba, Co, Cu, Cr, Ni, V, Zn y Pb (23,6 mg/kg) de acuerdo con la legislación ecuatoriana.

En cuanto a los valores de Pb en suelo del presente trabajo son mayores a los encontrados por Cargua, Mite, Carrillo, & Durango (2010), en la provincia de El Oro y Azuay que fue de 19,5 mg/kg y 15,6 mg/kg de Pb en suelo. Por otra parte, el estudio realizado por López et al. (2015), hallaron en el sedimento del río Yacuambi-Amazonía del Ecuador, desde 25–55 mg/kg de plomo, siendo así superior a los resultados obtenidos en la presente investigación. Igualmente en el sector de San Alfonso en Machachi (Quito), la concentración de plomo en los suelos agrícolas fue de 33,28 mg/kg (Quevedo, 2013), sobrepasando el límite máximo de 19 mg/kg/Pb según el Acuerdo Ministerial 097A.

Si bien es cierto, la contaminación del suelo con metales pesados se debe a algunas actividades antropogénicas como: minería, fundición, refinación de minerales y el uso intensivo de fungicidas cúpricos en la agricultura, las cuales dan como resultado efectos negativos sobre los ecosistemas terrestres impactados (Cargua et al., 2010). Además, Martí et al., (2002), mencionan que los fertilizantes, en especial los fosfatados presentan altas concentraciones de plomo (hasta 21 mg/kg Pb).

No obstante, aun cuando el suelo contenía concentraciones de plomo aceptadas, en el café en grano se encontró altos niveles de este metal. En este sentido, se hallaron altas concentraciones de plomo en las muestras de café en grano de las marcas CA ($0,923 \pm 1,46$ mg/kg), y CC ($0,837 \pm 1,49$ mg/kg), que sobrepasan el límite máximo permisible de la norma internacional MERCOSUR (0,50 mg/kg). Sin embargo, en café molido la mayor concentración de plomo se presentó en la marca CA (2,22 mg/kg), seguido por CC (1,67 mg/kg), las cuales exceden el rango límite que indica la Norma Nacional NTE INEN 1122 (1 mg/kg).

En cuanto a la marca CV, el Pb no fue detectable en las muestras de café en grano y molido ($<0,01$ mg/kg).

En otro estudio se menciona que los productos alimenticios cultivados en pueblos indígenas del Ecuador se encuentran contaminados por Pb según Counter, Buchanan, Ortega, Amarasiriwardena, & Hu (2000). También presencié niveles de plomo en frutas y verduras (0,5 mg/kg) superando así el límite europeo que es 0,10 mg/kg/Pb (Barraza et al., 2018).

Con respecto a los análisis en café en grano y café molido, los resultados son altos en comparación al estudio de Jarošová, Milde & Kuba (2014), que se realizó mediante el método ICP-MS para determinar la presencia de plomo en cinco tipos de café en la India donde encontraron $0,03 \pm 0,01$ mg/kg, en Kenia ($0,02 \pm 0,01$ mg/kg), en Colombia ($0,005 \pm 0,002$ mg/kg), en Honduras ($0,03$ mg/kg $\pm 0,004$ mg/kg) y en Etiopia ($<LD$). A igual que la investigación de Gure, Chandravanshi, & Godeto (2018), realizada en diferentes variedades de café tostado de cinco regiones de Etiopia, se encontraron valores por debajo del límite de detección, sin embargo, se hizo un análisis comparativo con otros países como Nigeria donde se obtuvo 0,09-0,91 mg/kg/Pb mientras que India 0,02-0,2 mg/kg de plomo, todos inferiores a los valores encontrados en el presente trabajo.

De igual manera, de acuerdo con los resultados de Sekeroglu (2012), las concentraciones de plomo en café herbales presentaron niveles máximos de $0,09 \pm 0,01$ mg/kg/Pb. Al comparar nuestros resultados con estas evidencias se observa que el café de Loja presenta una mayor contaminación con plomo en café en grano y molido.

Por último, la infusión de café que es la más consumida por la población, no presentó contaminación por Pb, lo que asegura la inocuidad alimentaria, por lo que el consumo de café no representa un peligro para el consumidor.

Según el estudio realizado por Gure et al., (2018), se evaluó metales pesados como Pb, Cd, Mn, Cr, Ni, Zn, Fe, Ca, Mg, K, Cr, en café tostado de diferentes variedades de la región de Etiopia, se detectó que el Pb ($<0,05$ - $0,07$ mg/kg) tuvo cantidades muy por debajo de los límites máximos permisibles, de manera que los consumidores podrían estar libres de los riesgos de Cd y Pb, por

cuanto en este estudio se asumió que beber dos tazas de café preparado a partir del café tostado es seguro para una persona adulta.

Finalmente, se rechaza la hipótesis inicial ya que las concentraciones de Pb no son mayores en el café industrial en comparación al artesanal, y, por el contrario, en una de las marcas de café industrial no se detectó este metal pesado.

4.3. MEDIDAS PARA REDUCIR LA ACUMULACIÓN DE PLOMO EN CAFÉ

A continuación, se proponen medidas para prevenir la acumulación de plomo en café:

- 1. Evitar el uso de fertilizantes fosfatados.** Como se ha mencionado anteriormente los fertilizantes, en especial los fosfatados presentan altas concentraciones de plomo y cadmio (Martí et al., 2002). Rodríguez et al. (2014), demuestran que fosfato diamónico (DAP), superfosfato triple (SPT), roca fosfórica y lombricomposta poseen altas concentraciones de As, Cd y Pb. Así mismo, Omwoma, Lalah, Onger, & Wanyonyi (2010), indican que la presencia de los pesticidas y fertilizantes generan un gran impacto negativo en la planta, debido a la concentración de metales pesados.
- 2. Incentivar a los agricultores con asistencias técnicas y asesoramientos de insumos para la siembra de café.** Se debe capacitar a los agricultores sobre el manejo de viveros, controlar las enfermedades que persisten el cultivo de café y realizar el uso adecuado de fertilizantes y pesticidas. Por lo tanto, se debe seguir con el Proyecto de Reactivación de la Café y Cacao Nacional Fino de Aroma, en Loja, en el que brindan conocimientos y prácticas técnicas a los pequeños y medianos productores (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca, 2017).
- 3. Capacitación a los agricultores para prevenir la contaminación por metales pesados en suelos.**
 - **Corrección del pH:** Utilizar compuestos como hidróxido de calcio para disminuir la biodisponibilidad del Pb (Ortiz, Sanz, Dorado, & Villar, 2007); otra opción a escoger es la cal, tomando en cuenta que las

especies sembradas no se vean afectadas por la modificación del pH (McLaughlin & Mineau, 1995). Sin embargo, los resultados al aplicar cal siempre conducen a especies químicas más simples, a medida que avanzan dichas reacciones los metales se degradan a tal grado de que son susceptibles de ser descompuestos de manera natural por el propio medio (Asociación Nacional de Fabricantes de Cal, 2007). El pH del suelo es ácido si la biodisponibilidad y solubilidad de los metales pesados es mayor (Chuan, Shu, & Liu, 1996).

- **Aumentar el contenido de Materia orgánica:** Para inmovilizar el metal, disminuir la biodisponibilidad del metal a las plantas y reducir la toxicidad en los suelos (Wuana & Okieimen, 2011). Así mismo, nos ayudará a diluir y adherir el plomo y mejorará la calidad de la tierra (Soldat, 2016)
- **Realizar un control al agua de riego:** Ya que en los cultivos se acumulan metales pesados de diferentes maneras como la absorción por el agua de regadío contaminada o por la tierra mediante las raíces (Mor & Ceylan, 2008). En este sentido se debe de controlar la composición del agua que será empleada para uso de riego y evitar la acumulación excesiva de metales pesados en la cadena alimentaria (Sarabia, Cisneros, Aceves, Durán, & Castro, 2011).

4. Aplicar Fitorremediación para sanear aquellos suelos contaminados con plomo. El pasto es uno de los género más propicio para la fitorremediación de manera inorgánica y orgánica de metales, debido a adaptabilidad a varias condiciones edáficas y climáticas y a su hábitat de crecimiento (Singh, Labana, Pandey, Budhiraja, & Jain, 2003). También tenemos a la planta Cerraja (*Sonchus oleraceus*) que es tolerante al Pb y se ha presentado como especie fitorremediadora de ambientes contaminados con este metal (Xiong, 1997).

En otros países han utilizado el girasol (*Helianthus annuus* L.) como una planta hiperacumuladora ya que atrae los metales pesados en mayor cantidad, acumulándose principalmente en sus raíces, por lo que se

considera una planta favorable en la fitoextracción de Pb, Zn, Cd y elementos radiactivos (Christie, Li, & Chen, 2004).

5. Implementar Buenas Prácticas Agrícolas (BPA). La FAO (2014), propone disminuir la contaminación por plomo en los alimentos con las siguientes BPA:

- a) Eliminar el uso de la gasolina con Pb en zonas agrícolas.
- b) Impedir cultivar alimentos de consumo humano alrededor de carreteras, instalaciones industriales, depósitos de municiones.
- c) Evitar el uso de fungicidas cúpricos y plaguicidas a base de arseniato de plomo.
- d) Identificar que no contenga Pb el agua para irrigación de los cultivos.
- e) Reemplazar antiguas tuberías o aquellas que contienen soldaduras de plomo.

CONCLUSIONES

Por medio de los resultados obtenidos de la presente investigación se logró concluir los siguientes puntos:

- Se determinó la concentración de plomo en café artesanal y café industrial comercializados en la provincia de Loja. La concentración de plomo en infusión no fue detectable ($<0,1$ mg/kg Pb) en ninguna de las tres marcas CA, CC y CV.
- Se determinó que la concentración de plomo en café en grano marca CC (1,49 mg/kg), café molido marca CA (2,22 mg/kg), y suelo del cultivo CA (23,60 mg/kg), superaron los niveles máximos permisibles determinados por la normativa internacional y nacional. Se concluye que el café puede estar contaminado con plomo, independientemente que este sea artesanal o industrial y la fuente principal de polución es el suelo.
- La marca industrial CV no presentó concentración de plomo en café en grano y café molido, aun cuando el suelo contenía $13,97 \pm 3,62$ mg/kg Pb. Esto se debió a que el suelo tuvo un mayor porcentaje de arcilla en comparación de los otros suelos y al adsorber el metal pesado evitó que se transportara hacia el fruto.
- Se propuso medidas para minimizar la acumulación de plomo en café en grano, café molido e infusión y sean empleadas en el Ecuador para garantizar la inocuidad alimentaria.

RECOMENDACIONES

- Luego de evidenciar altas concentraciones de Pb en café arábigo, se sugiere repetir este mismo estudio en otras provincias del país y también en otras variedades de café cultivadas en Ecuador.
- Determinar las concentraciones de Pb en café instantáneo ya que esta presentación es de uso excesivo a nivel nacional e internacional por el consumidor.
- Se recomienda a las autoridades realizar controles periódicos y capacitar a los agricultores en el correcto manejo del suelo para que el cultivo no se vea afectado por la concentración de metales pesados que se encuentran presentes en la superficie.
- En las Normas INEN no se encontraron valores de contenido para plomo en café en grano e infusión, por lo que se recomienda a las autoridades, incluir estos valores referenciales de límites máximos permisibles para de esta manera mantener una vigilancia sanitaria en Ecuador.
- Se propone a las autoridades pertinentes fortalecer la legislación ambiental con el fin de promover y cumplir las metas establecidas en el Plan Nacional de Desarrollo Toda una Vida (2017), para impulsar la producción de alimentos suficientes, saludables y mejorar de la calidad de vida de la población, sostenibilidad ambiental y seguridad alimentaria.

BIBLIOGRAFÍA

- Acuerdo Ministerial 097-A. (2015). *ANEXO 2 del Libro VI del TULSMA: Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos Contaminados*. Obtenido de Ministerio del Ambiente: http://gis.uazuay.edu.ec/ierse/links_doc_contaminantes/REGISTRO%20OFICIAL%20387%20-%20AM%20140.pdf
- Agencia de Protección Ambiental. (2016). *Términos M*. Obtenido de Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA): <https://espanol.epa.gov/espanol/terminos-m>
- Aguilar, N., Houbron, E., Rustrian, E., & Reyes, L. (2014). Papel Amate de Pulpa de Café (coffea arabica) (residuo de beneficio húmedo). *Ra Ximhai*, 10(3), 103-117. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46131111008>
- Alcívar, M. (2018). *Determinación de cadmio y plomo en productos derivados de la caña: azúcar blanca, morena y panela, comercializados en Ecuador*. Obtenido de (Tesis de Grado). Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Naturales.: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/34975>
- Analítica Avanzada - ANAVANLAB CIA. LTDA. (2015). *Determinación de Metales en Suelos mediante Digestión por Microondas y Análisis por Absorción Atómica de Llama*. Guía sobre la metodología del Laboratorio, Laboratorio ANAVANLAB CIA. LTDA, Quito.
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2008). *Constitucion de la Republica del Ecuador 2008. Registro Oficial 449*. Obtenido de https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2010). *Ley Orgánica del Régimen de la soberanía alimentaria*. Obtenido de <http://www.soberaniaalimentaria.gob.ec/prueba/servicios/wp-content/uploads/downloads/2016/05/LORSA.pdf>

- Ashu, R., & Chandravanshi, B. S. (2011). Concentration levels of metals in commercially available ethiopian roasted coffee powders and their infusions. *Bulletin of the Chemical Society of Ethiopia*, 25(1), 11-24. Obtenido de <https://www.ajol.info/index.php/bcse/article/view/63356>
- Asociación Española de Fabricantes de Agronutrientes (AEFA). (2017). *Fertilizante*. Obtenido de Asociación Española de Fabricantes de Agronutrientes : <https://aefa-agronutrientes.org/glosario-de-terminos-utiles-en-agronutricion/fertilizante>
- Asociación Nacional de Fabricantes de Cal. (2007). *Remediación de suelos contaminados*. Obtenido de ANFACAL: <http://anfocal.org/pages/usos-y-aplicaciones-de-la-cal/usos-ecologicos/remediacion-de-suelos-contaminados.php>
- Azcona, M., Ramírez, R., & Vicente, G. (2015). Efectos tóxicos del plomo. *Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas*, 20(1), 72-77. Obtenido de Efectos tóxicos del plomo: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47345916012>
- Barraza, F., Maurice, L., Uzu, G., Becerra, S., López, F., Ochoa, B., . . . Schreck, E. (2018). Distribution, contents and health risk assessment of metal(loid)s in small-scale farms in the Ecuadorian Amazon: An insight into impacts of oil activities. *Science of the Total Environment* 622-623, 106-120. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.246>
- Blago, R. (1994). *Espectroscopía de absorción atómica*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO): <http://www.fao.org/docrep/field/003/ab482s/AB482S00.htm#TOC>
- Blanco, A., Ortega, L., Dueñas, J., Batista, R., Serafín, R., & Autié, M. (2014). Remoción de plomo (II) en vidrio volcánico y propuesta de adsorbedor por etapas. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 30(2), 167-175. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v30n2/v30n2a4.pdf>

- Brenes, G., & Víquez, C. (2016). *La Situación y tendencias de la producción de café en América Latina y El Caribe*. Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Obtenido de <http://www.iica.int/es/publications/la-situaci%C3%B3n-y-tendencias-de-la-producci%C3%B3n-de-caf%C3%A9-en-am%C3%A9rica-latina-y-el-caribe>
- Burger, J. (2008). Assessment and management of risk to wildlife from cadmium. *Sciences of The Total Environment*, 389(1), 37-45. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.08.037>
- Bustamante, E. (2011). *Adsorción de metales pesados en residuos de café modificados químicamente*. Obtenido de (Tesis de maestría). Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Químicas: <http://eprints.uanl.mx/2323/1/1080223849.pdf>
- Cahuasqui, S. (2011). *Determinación de metales pesados (plomo, cadmio y níquel) en el cilantro (Coriandrum sativum L) en Aloag, cantón Mejía, provincia de Pichincha por espectrofotometría de absorción atómica de llama*. Obtenido de (Tesis de Grado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales: <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/12765/CARATULA%20DISERTACION.pdf?sequence=1>
- Cárdenas, J., & Pardo, J. (2014). *Caracterización de las etapas de fermentación y secado del café la primavera*. Obtenido de (Tesis de Grado). Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito: <http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2017/02/CARACTERIZACI%C3%93N-DE-LAS-ETAPAS-DE-FERMENTACI%C3%93N-Y-SECADO-DEL-CAF%C3%89-LA-PRIMAVERA-1.pdf>
- Cargua, J., Mite, F., Carrillo, M., & Durango, W. (2010). *Determinación de las formas de Cu, Cd, Ni, Pb y Zn y su biodisponibilidad en suelos agrícolas del Litoral Ecuatoriano*. Obtenido de XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo: <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/1.-Cargua-Determinacion-cadmio.pdf>

- Chávez, J. D. (2017). *Determinación de cadmio y plomo en soya (Glycine max L.) en grano, en polvo y líquida comercializada en la ciudad de Guayaquil-Ecuador*. Obtenido de (Tesis de Grado). Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Naturales: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/20968/1/UNIVERSIDAD%20DE%20GUAYAQUIL%20David%20L%C3%B3pez%20Tesis%20Cd%20y%20Pb%20en%20Soya.pdf>
- Christie, P., Li, X., & Chen, B. (2004). Arbuscular mycorrhiza can depress translocation of zinc to shoots of host plants in soils moderately polluted with zinc. *Plant and Soil*, 261, 209-217.
- Chuan, M., Shu, G., & Liu, J. (1996). Solubility of heavy metals in a contaminated soil: Effects of redox potential and pH. *Water, Air, and Soil Pollution*, 90, 543-556.
- Counter, S., Buchanan, Ortega, F., Amarasiriwardena, C., & Hu, H. (2000). Environmental Lead Contamination and Pediatric Lead Intoxication an Andean Ecuadorian Village. *International Journal of Occupational and Environmental*, 6(3), 169-176. doi:<http://dx.doi.org/10.1179/oeh.2000.6.3.169>
- Covarrubias, S., & Peña, J. (2017). Contaminación ambiental por metales pesados en México: problemática y estrategias de fitorremediación. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33, 7-21. doi:10.20937/RICA.2017.33.esp01.01
- Dávila, C. (2017). *Determinación de plomo y cadmio en jugos de naranja (citrus sinensis) expendidos de forma ambulatoria en el paradero villa sol-Los Olivos-Periodo Octubre 2016*. Recuperado el 03 de Noviembre de 2018, de (Tesis de Grado). Universidad Wiener: <http://repositorio.uwiener.edu.pe/handle/123456789/531>

- Díaz, L., Mendoza, E., Bravo, M., & Domínguez, N. (2018). Determinación de Cadmio y Plomo en almendras de cacao (*Theobroma cacao*), proveniente de fincas de productores orgánicos del cantón Vinces. *Espirales*, 2(15). Obtenido de <http://www.revistaespirales.com/index.php/es/article/view/213/160>
- Disagro. (2013). *¿Qué es un fertilizante?* Recuperado en Noviembre de 2018, de Disagro: <http://www.disagro.com/sites/default/files/downloads/Conceptosbasicosfertilizantesyrellenos.pdf>
- Duicela, L., Corral, R., Farfán, D., Fernández, F., Shiguango, D., Guamán, J., & García, J. (2010). *Influencia de métodos de beneficio sobre la calidad organoléptica del café robusta*. Portoviejo: COFENAC; SICA.
- Elika. (2013). *Plomo*. Obtenido de Fundación Vasca para la Seguridad Alimentaria: https://riesgos.elika.eus/wp-content/uploads/2018/01/26.Plomo_.pdf
- EPA. (1996). *Soil Screening Guidance: Technical Background Document*. EPA/540/R95/128. Office of Solid Waste and Emergency Response Washington, DC 20460. Obtenido de United States Environmental Protection Agency: <file:///C:/Users/user/Downloads/755533.pdf>
- Eróstegui, C. (2009). Contaminación por metales pesados. *Revista Científica Ciencia Médica*, 12(1), 45-46.
- FAO. (2009). *Glosario de agricultura orgánica*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación : <http://www.fao.org/docrep/pdf/012/k4987t/k4987t.pdf>
- FAO. (2012). *Análisis de Cadena de Valor del Café con enfoque de Seguridad Alimentaria y Nutricional*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación: <http://www.fao.org/docrep/019/as545s/as545s.pdf>

- FAO. (2014). *Código de prácticas para la prevención y reducción de la presencia de plomo en los alimentos (CAC/RCP 56-2004)*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura : file:///C:/Users/user/Downloads/CXP_056s.pdf
- FAO. (2015). *El uso de fertilizantes sobrepasará los 200 millones de toneladas en 2018*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: <http://www.fao.org/news/story/es/item/277654/icode/>
- FAO. (2018). *Textura del suelo*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: http://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s06.htm
- FAO; Asociación Internacional de la Industria de Fertilizantes (IFA). (2002). *Los fertilizantes y su uso*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y agricultura: <http://www.fao.org/3/a-x4781s.pdf>
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2010). *El Cultivo*. Obtenido de Café de Colombia: http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/sobre_el_cafe/el_cafe/el_cultivo/
- Figuroa, E., Pérez, F., & Godínez, L. (2015). *La producción y el consumo del café*. (M. García, Ed.) España: ECORFAN.
- GAD, Cantón Paltas. (2016). *Datos Generales de Paltas*. Obtenido de Paltas Alcaldía: <http://paltas.gob.ec/paltas/ubicacion-geografica.html>
- GAD, Sozoranga. (2006). *Territorio y Población*. Obtenido de Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Sozoranga: <http://sozoranga.gob.ec/index.php/territorio-y-poblacion>
- García, C., Lima, C., Ruiz, C., Santana, C., & Calderon, P. (2016). Agroecosistemas con probables riesgos a la salud por contaminación con metales. *Revista Cubana de Química*, 28(1), 378-393.

- García, J., Méndez, J., Pásaro, E., & Laffon, B. (2010). Genotoxic effects of lead: An updated review. *Environment International*, 36, 623-636. doi:10.1016/j.envint.2010.04.011
- Gobierno Autónomo Descentralizado, Municipal Chaguarpamba. (2018). *Mapas del cantón*. Obtenido de Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD), Municipal Chaguarpamba: <http://chaguarpamba.gob.ec/es-es/cant%C3%B3n/cartograf%C3%ADa-del-cant%C3%B3n-chaguarpamba>
- Guamán, A. (2014). *Canton Paltas: Estrategias para su desarrollo economico y social*. Obtenido de (Tesis de Grado). Pontificia Universidad Catolica del Ecuador: <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/6857>
- Gupta, D. K., & Lu, L. (2013). Lead Detoxification Systems in Plants. En V. N. Robert H. Kretsinger, *Encyclopedia of Metalloproteins*. Springer. doi:https://doi.org/10.1007/978-1-4614-1533-6_322
- Gure, A., Chandravanshi, B. S., & Godeto, T. W. (2018). Assessment of metals in roasted indigenous coffee varieties of ethiopia. *Bulletin of the Chemical Society of Ethiopia*, 32(1), 27-38.
- INEC. (2010). *Fascículo Provincial Loja* . Obtenido de Instituto Nacional de Estadística y Censos: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manu-lateral/Resultados-provinciales/loja.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos . (2017). *Ecuasta de superficie y producción agropecuaria continua (ESPAC) 2016*. Obtenido de Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC): <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>
- Jarošová, M., Milde, D., & Kuba, M. (2014). Análisis elemental del café: una comparación de ICP-MS y Métodos AAS. *Czech Journal of Food Sciences*, 32(4), 354-359.
- Jiménez, A., & Massa, P. (2015). Producción de café y variables climáticas: El caso de Espíndola, Ecuador. *Economía*, XL(40), 117-137.

- Kabata-Pendias. (2001). *Trace Elements in Soils and Plants* (3^o Edition ed.). Florida: CRC Press Boca Raton. Obtenido de <http://base.dnsgb.com.ua/files/book/Agriculture/Soil/Trace-Elements-in-Soils-and-Plants.pdf>
- Lassiter, M., E., O., M., P., E., K., M., M., J., R.-B., . . . J., D. (2015). Cross-species coherence in effects and modes of action in support of causality determinations in the U.S. Environmental Protection Agency's Integrated Science Assessment for Lead. *Toxicology*, 330, 19-40. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tox.2015.01.015>
- León, E. L. (2011). *Fertilización del cafeto*. Obtenido de ANECAFE: https://www.anacafe.org/glifos/index.php/Fertilizacion_del_cafeto
- Londoño, L., Londoño, P., & Muñoz, F. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustria*, 14(2), 145-153. doi:10.18684/BSAA(14)145-153
- López. (2003). *Mejoramiento de rendimiento en el proceso de extracción de café de la empresa Decafé S.A.* Obtenido de (Tesis de Grado). Universidad Nacional de Colombia: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1153/1/paulaandrealopezcarmona.2003.pdf>
- López. (2017). *Determinación de cadmio y plomo en soya (Glycinemax L.) en grano, en polvo y líquida comercializada en la ciudad de Guayaquil-Ecuador*. Obtenido de (Tesis de Grado). Universidad de Guayaquil: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/20968/1/UNIVERSIDAD%20DE%20GUAYAQUIL%20David%20L%C3%B3pez%20Tesis%20Cd%20y%20Pb%20en%20Soya.pdf>
- López, C., Collahuazo, L., Torres, S., Chinchay, L., Ayala, D., & Paulina, B. (2015). Mercury Pollution in Soils from the Yacuambi River (Ecuadorian Amazon) as a Result of Gold Placer Mining. *Bull Environ Contam Toxicol*, 311 - 3116. doi:10.1007/s00128-015-1604-7

- MAG. (2017). *6425 hectáreas de café son renovadas en la provincia de Loja*. Obtenido de Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG): <https://www.agricultura.gob.ec/6425-hectareas-de-cafe-son-renovadas-en-la-provincia-de-loja/>
- Malar, S., Vikram, S., Favas, P., & Perumal, V. (2014). Lead heavy metal toxicity induced changes on growth and antioxidative enzymes level in water hyacinths [*Eichhornia crassipes* (Mart.)]. *Botanical Studies*, 55. doi:<https://doi.org/10.1186/s40529-014-0054-6>
- Martí, L., Burba, J., & Cavagnaro, M. (2002). Metales pesados en fertilizantes fosfatados, nitrogenados y mixtos. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 43-48. Obtenido de http://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/2829/martiagrarias2-34-02.pdf
- Martí, L., Filippini, M., Bermejillo, A., Troilo, S., Salcedo, C., & Valdés, A. (2009). Monitero de camio y plomo en los principales fungicidas cúpricos comercializados en Mendoza, Argentina. *Revista Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo*, 109-116.
- Mason, L. H., Harp, J. P., & Han, D. Y. (2014). Pb Neurotoxicity: Neuropsychological Effects of Lead Toxicity. *BioMed Research International*. doi:<http://dx.doi.org/10.1155/2014/840547>
- McLaughlin, A., & Mineau, P. (1995). The impact of agricultural practices on biodiversity. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 55, 201-212. doi:[https://doi.org/10.1016/0167-8809\(95\)00609-V](https://doi.org/10.1016/0167-8809(95)00609-V)
- Mendoza, R., & Espinoza, A. (2017). *Guía Técnica para Muestreo de Suelos*. Obtenido de Universidad Nacional Agraria y Catholic Relief Services: <http://repositorio.una.edu.ni/3613/1/P33M539.pdf>
- MERCOSUR. (2011). *Reglamento técnico mercosur sobre límites máximos de contaminantes inorgánicos en alimentos*. Obtenido de MERCOSUR.

- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. (2017). *Caficultores de Loja reciben asistencia e insumos*. Obtenido de Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG): <https://www.agricultura.gob.ec/caficultores-de-loja-reciben-asistencia-e-insumos/>
- Monteros, A. (2017). *Rendimientos de café grano seco en el Ecuador 2017*. Obtenido de Ministerio de Agricultura y Ganadería: http://sinagap.agricultura.gob.ec/pdf/estudios_agroeconomicos/rendimiento_cafe_grano_seco2017.pdf
- Mor, F., & Ceylan, S. (2008). Cadmium and lead contamination in vegetables collected from industrial, traffic and rural areas in Bursa Province, Turkey. *Food Additives and Contaminants*, 25(5), 611 - 615. Obtenido de <https://doi.org/10.1080/02652030701691531>
- Müller, F. D., Hackethal, C., Schmidt, R., Kappenstein, O., Pfaff, K., & Luch, A. (2015). Metal release from coffee machines and electric kettles. *Food Additives & Contaminants*, 32, 1959-1964. doi:10.1080/19440049.2015.1086929
- Muñoz, J., Mero, M., Larreta, E., Benavides, Á., Romero, B., Pezo, R. D., & Noboa-Cárdenas, A. (2016). Determinación de cadmio y plomo en plantas de arroz y suelos de Daule y Nobol. En UTMACH, *Segundo Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología* (pág. 85). Machala.
- Nava-Ruíz, C., & Méndez-Armenta, M. (2011). Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). *Archivos de Neurociencias*, 16(3), 140-147. Obtenido de <http://www.medigraphic.com/pdfs/arcneu/ane-2011/ane113f.pdf>
- Nędzarek, A., Tórz, A., Karakiewicz, B., Clark, J. S., Laszczyńska, M., Kaleta, A., & Adler, a. G. (2013). Concentrations of heavy metals (Mn, Co, Ni, Cr, Ag, Pb) in coffee. *Acta Biochimica Polonica*, 60(4), 623–627.
- Needleman, H. (2004). Lead poisoning. *Annual Review of Medicine*(55), 209-222. doi:10.1146/annurev.med.55.091902.103653

- NTE INEN 1122. (2013). *Café Soluble. Requisitos*. Obtenido de Servicio Ecuatoriano de Normalización: http://181.112.149.204/buzon/normas/nte_inen_1122-3.pdf
- OMS. (2018). *Intoxicación por plomo y salud*. Obtenido de Organización Mundial de la Salud: <http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>
- OMS. (2018). *Residuos de plaguicidas en los alimentos*. Obtenido de Organización Mundial de la Salud: <http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/pesticide-residues-in-food>
- OMS; FAO. (2015). *Código Internacional de Conducta para la Gestión de Plaguicidas*. Obtenido de Organización Mundial de la Salud; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: <http://www.fao.org/3/a-i3604s.pdf>
- Omwoma, S., Lalah, J., Onger, D., & Wanyonyi, M. (2010). Impact of Fertilizers on Heavy Metal Loads in Surface Soils in Nzoia Nucleus Estate Sugarcane Farms in Western Kenya. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 85(6), 602-608. doi:10.1007 / s00128-010-0133-7
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2004). *Perspectivas a Plazo Medio de los Productos Básicos Agrícolas*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO): <http://www.fao.org/docrep/007/y5143s/y5143s0v.htm>
- Ortiz, I., Sanz, J., Dorado, M., & Villar, S. (2007). *Técnicas de recuperación de suelos contaminados*. Madrid: CITME. Obtenido de Vigilancia Técnica.
- Pernía, B., Mero, M., Bravo, K., Ramírez, N., López, D., Muñoz, J., & Egas, F. (2015). Detección de cadmio y plomo en leche de vaca comercializada en la ciudad de Guayaquil, Ecuador. *Revista Científica Ciencias Naturales y Ambientales*, 81-86.
- Pigozzi, M. T., Passos, F. R., & Mendes, F. Q. (2018). Quality of Commercial Coffees: Heavy Metal and Ash Contents. *Hindawi*. doi:<https://doi.org/10.1155/2018/5908463>

- Pila, C. (2016). *Determinación de la presencia de plomo y cadmio en dos hortalizas lechuga (Lactuca sativa) y zanahoria (Daucus carota) en el Quinche*. Obtenido de (Tesis de Grado). Universidad Central del Ecuador: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/10069/1/T-UCE-0004-82.pdf>
- Pizarro, J. C., Barrezueta, S., & Prado, E. (2016). Análisis de canales de comercialización y consumo de café (coffea arábica) en la Ciudad de Machala, Ecuador. *Caribeña de Ciencias Sociales*, 1-14.
- Plan Nacional de Desarrollo. Toda una Vida. (2017). *Objetivo 6: Desarrollar las capacidades productivas y del entorno para lograr la soberanía alimentaria y el Buen Vivir Rural*. Obtenido de Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021. Toda una Vida: http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL_0K.compressed1.pdf
- Poma, P. (2008). Intoxicación por plomo en humanos. *Anales de la Facultad de Medicina*, 69(2), 120-126. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37911344011>
- Pozo, W., Sanfeliu, T., & Carrera, G. (2011). Metales pesados en humedales de arroz en la cuenca baja del río Guayas. *Maskana*, 2(1), 17-30. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/5383/1/MASKANA%20si5938%20%282%29.pdf>
- Price, H., Arthur, R., Sexton, K., Gregory, C., Hoogendoorn, B., Matthews, I., . . . BéruBé, K. (2010). Airborne Particles in Swansea, UK: Their Collection and Characterization. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 73, 355–367. doi:10.1080/15287390903442652
- Prieto, J., González, C., Román, A., & Prieto, F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(1), 29-44. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93911243003>

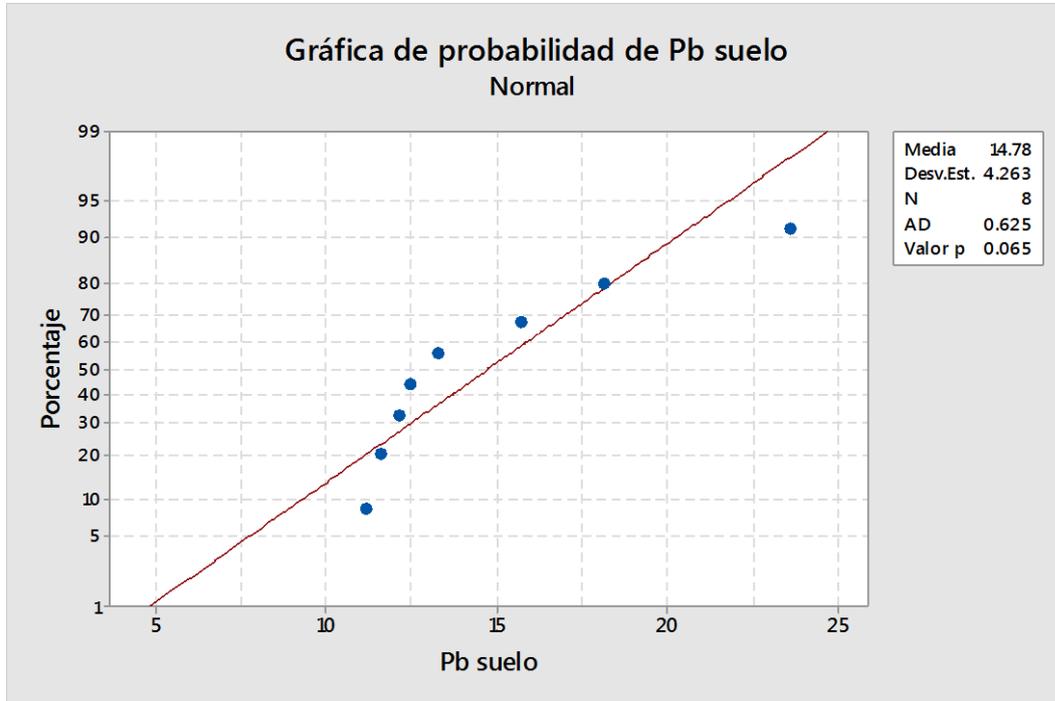
- Quevedo, J. L. (2013). *Determinación de factores de enriquecimiento e índices de geoacumulación de plomo, cadmio y níquel en suelos agrícolas del sector San Alfonso en Machachi*. Obtenido de (Tesis de Grado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador: https://www.researchgate.net/publication/289470631_GEOACCUMULATION_INDEX_AND_ENRICHMENT_FACTOR_FOR_LEAD_CADMIUM_AND_NICKEL_IN_AGRICULTURAL_SOILS_OF_SAN_ALFONSO_AREA_IN_MACHACHI_---_DETERMINACION_DE_FACTORES_DE_ENRIQUECIMIENTO_E_INDICES_DE_GEOACUMULAC
- Ramón, G. (2018). ¿Cómo y cuándo llegó el café a Loja? (J. Ramón, Entrevistador)
- Reyes, R., Pierre, G., Guridi, F., & Valdés, R. (2014). Disponibilidad de metales pesados en suelos Ferralíticos con baja actividad antrópica en San José de las Lajas, Mayabeque. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(3), 37-40.
- Rivera, S., & Valarezo, C. (2016). *Producción y comercialización de licor de cacao y café*. Obtenido de (Tesis de Maestría). Escuela Superior Politécnica del Litoral: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/36275>
- Rodríguez. (2017). Intoxicación ocupacional por metales pesados. *MEDISAN*, 21(12). Obtenido de <http://scielo.sld.cu/pdf/san/v21n12/san122112.pdf>
- Rodríguez, J., Alcalá, J., Hernández, A., Rodríguez, H., Ruiz, F., García, J., & Díaz, P. (2014). Elementos traza en fertilizantes y abonos utilizados en agricultura orgánica y convencional. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(4), 695-701. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342014000400013

- Rubio, C., Gutiérrez, A., Izquierdo, M., Revert, C., Lozano, G., & Hardisson, A. (2004). El plomo como contaminante alimentario. *Revista de Toxicología*, 21(2-3), 72-80. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91921303>
- Santos, J. S., Santos, M. d., & Conti, M. M. (2010). Comparative Study of Metal Contents in Brazilian Coffees Cultivated by Conventional and Organic Agriculture Applying Principal Component Analysis. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 21(8), 1468-1476. Obtenido de <http://www.scielo.br/pdf/jbchs/v21n8/09.pdf>
- Sarabia, I., Cisneros, R., Aceves, J., Durán, H., & Castro, J. (2011). Calidad del agua de riego en suelos agrícolas y cultivos del valle de San Luis Potosí, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 27(2), 103-113. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37019853002>
- Sekeroglu, N. (2012). Mineral Compositions of Herbal Coffees Consumed in Turkey. *Asian Journal of Chemistry*, 24(12), 5829 - 5832.
- Sharma, P., & Dubey, R. (2005). Lead toxicity in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17(1), 35-52.
- Silva, S. A., Mendes, F. Q., Reis, M. R., Passos, F. R., Carvalho, A. M., Rocha, K. R., & Pinto, F. G. (2016). Determination of heavy metals in the roasted and ground coffee beans and brew. *Academic Journals*, 12(4), 221-228. doi:10.5897/AJAR2016.11832
- Simoniello, M. F., Kleinsorge, E. C., & Carballo, M. A. (2010). Evaluación bioquímica de trabajadores rurales expuestos a pesticidas. *Medicina (Buenos Aires)*, 70(6), 489-49.
- Singh, O., Labana, S., Pandey, G., Budhiraja, R., & Jain, R. (2003). Phytoremediation: an overview of metallic ion decontamination from soil. *Appl Microbiol Biotechnol*, 405-412. doi:10.1007/s00253-003-1244-4
- Soldat, D. (2016). *Reducció de la exposició al plomo en terra de huerto*. Obtenido de Universidad Wisconsin-Extension: <https://learningstore.uwex.edu/Assets/pdfs/A4088S.pdf>

- Toni, L., Tisato, F., Seraglia, R., Roverso, M., Gandin, V., Marzano, C., . . . Forestaa, C. (2017). Phthalates and heavy metals as endocrine disruptors in food: A study on prepacked coffee products. *Toxicology Reports*, 234-239. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2017.05.004>
- Torres, J., & Duche, G. (2012). *Monografía del cantón Loja, provincia de Loja*. Obtenido de (Tesis de Grado). Universidad Técnica Particular de Loja: <file:///C:/Users/user/Downloads/1074400.pdf>
- Union Europea. (2017). *Metales Pesados*. Obtenido de EPA: <http://plaguicidas.comercio.es/MetalPesa.pdf>
- Wolansky, M. J. (2011). Plaguicidas y salud humana. *Ciencia Hoy*, 23-29. Obtenido de <https://www.agro.uba.ar/users/semmarti/Usotierra/CH%20Plaguicidas%20fin.PDF>
- Wuana, R., & Okieimen, F. (2011). Heavy Metals in Contaminated Soils: A Review of Sources, Chemistry, Risks and Best Available Strategies for Remediation. *ISRN Ecology*, 1-20. doi:10.5402/2011/402647
- Xiong, Z.-T. (1997). Bioaccumulation and physiological effects of excess lead in a roadside pioneer species *Sonchus oleraceus* L. *Environmental Pollution*, 3, 275-279. Obtenido de [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(97\)00086-9](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(97)00086-9)
- Yucra, S., Gasco, M., Rubio, J., & Gonzales, G. F. (2008). Exposición ocupacional a plomo y pesticidas órganofosforados: efecto sobre la salud reproductiva masculina. *Scielo Peru*, 25(4), 394-402. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=36311614009>
- Zhou, H., Zeng, M., Zhou, X., Liao, Liu, Lei, . . . Zeng, H. (2013). Assessment of heavy metal contamination and bioaccumulation in soybean plants from mining and smelting areas of southern Hunan Province, China. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 32(12), 2719-2727. doi:<https://doi.org/10.1002/etc.2389>

ANEXOS

Anexo 1. Gráfico prueba de normalidad Anderson-Darling



Fuente: (Viñan, 2018)

Anexo 2. Prueba de Igualdad de Varianza (ANOVA)

Prueba de varianzas iguales: Pb suelo vs. Muestra

Método

Hipótesis nula Todas las varianzas son iguales
Hipótesis alterna Por lo menos una varianza es diferente
Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar

Muestra	N	Desv.Est.	IC
CA	2	7.27613	(*, *)
CC	3	2.34227	(0.0307834, 882.25)
CV	3	3.62032	(0.0475801, 1363.65)

Nivel de confianza individual = 98.3333%

Pruebas

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	–	0.000
Levene	1.54	0.301

Fuente: (Viñan, 2018)

Anexo 3. Análisis de Varianza (ANOVA)

ANOVA unidireccional: Pb suelo vs. Muestra

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna Por lo menos una media es diferente
Nivel de significancia $\alpha = 0.05$
Filas no utilizadas 1

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor Niveles Valores
Muestra 3 CA, CC, CV

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Muestra	2	37.08	18.54	1.03	0.423
Error	5	90.13	18.03		
Total	7	127.21			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
4.24565	29.15%	0.81%	0.00%

Medias

Muestra	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
CA	2	18.46	7.28	(10.74, 26.17)
CC	3	13.14	2.34	(6.84, 19.44)
CV	3	13.97	3.62	(7.67, 20.27)

Desv.Est. agrupada = 4.24565

Fuente: (Viñan, 2018)

Anexo 4. Método de Tukey

Comparaciones en parejas de Tukey

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

Muestra	N	Media	Agrupación
CA	2	18.46	A
CV	3	13.97	A
CC	3	13.14	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Fuente: (Viñan, 2018)