



Universidad de Guayaquil

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

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE  
INGENIERO AMBIENTAL**

TEMA:

**DETERMINACIÓN DE ARSÉNICO EN CAFÉ ARTESANAL COMERCIALIZADO EN  
EL CANTÓN ZARUMA, PROVINCIA DE EL ORO - ECUADOR**

AUTOR: **Cristhian Andrés Vásquez Toro**

TUTOR: **Blgo. David Eloy García Asencio, MSc.**

**GUAYAQUIL, ABRIL 2020**



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



ANEXO VI

Guayaquil, 05 de marzo del 2020

Señor Ingeniero

Vinicio Macas Espinosa. MSc.

**DIRECTOR (E) 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, del estudiante Cristhian Andrés Vásquez Toro, 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 **DETERMINACIÓN DE ARSÉNICO EN CAFÉ ARTESANAL COMERCIALIZADO EN EL CANTÓN ZARUMA, PROVINCIA DE EL ORO – ECUADOR**, **CERTIFICO**, para los fines pertinentes, que el estudiante está apto para continuar con el proceso de revisión final.

Atentamente,

BLGO. DAVID ELOY GARCÍA ASENCIO, MSC.

C.I. 0920826302

Fecha: 05 de marzo del 2020





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



ANEXO VII

## CERTIFICADO PORCENTAJE DE SIMILITUD

Habiendo sido nombrado David Eloy García Asencio, tutor del trabajo de titulación certifico que el presente trabajo de titulación ha sido elaborado por Cristhian Andrés Vásquez Toro, C.C.:0705647352, con mi respectiva supervisión como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniería Ambiental

Se informa que el trabajo de titulación: **DETERMINACIÓN DE ARSÉNICO EN CAFÉ ARTESANAL COMERCIALIZADO EN EL CANTÓN ZARUMA, PROVINCIA DE EL ORO - ECUADOR**, ha sido orientado durante todo el periodo de ejecución en el programa antiplagio (URKUND) quedando el 2 % de coincidencia.

URKUND

### Urkund Analysis Result

Analysed Document: Tesis\_Vasquez Toro Cristhian FINAL .docx (D64858749)  
Submitted: 3/4/2020 11:40:00 PM  
Submitted By: cristhian.vasquez@ug.edu.ec  
Significance: 2 %

#### Sources included in the report:

TESIS final-VIÑAN- (1).docx (D48172718)  
TESIS final-VIÑAN- URKUND.docx (D48101159)  
Tesis Arsenico Arroz Estrella-Yopez.docx (D24898053)  
TESIS JUSTIN GAVILANES- URKUM.docx (D54790119)

#### Instances where selected sources appear:

17

<https://secure.arkund.com/view/62886480-162333-766895#/details/findings/matches/22>

**BLGO. DAVID ELOY GARCÍA ASENCIO, MSC.**

**C.I. 0920826302**

**Fecha: 05 de marzo del 2020**





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



ANEXO VIII

Guayaquil, miércoles 8 de abril de 2020

Señor Ingeniero

Vinicio Xavier 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 ARSÉNICO EN CAFÉ ARTESANAL COMERCIALIZADO EN EL CANTÓN ZARUMA, PROVINCIA DE EL ORO-ECUADOR** del estudiante **CRISTHIAN ANDRÉS VÁSQUEZ TORO**. 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 16 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 13 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 el que el trabajo de investigación cumple con los requisitos exigidos.

Una vez concluida esta revisión, considero que el estudiante está apto para continuar el proceso de titulación. Particular que comunicamos a usted para los fines pertinentes.

Atentamente,

Wilson Orlando Pozo Guerrero, PhD

C.I. 0400440590

Fecha: miércoles 8 abril de 2020



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



ANEXO XI



Presidencia  
de la República  
del Ecuador



Plan Nacional  
de Ciencia, Tecnología,  
Innovación y Saberes



SENESCYT  
Secretaría Nacional de Educación Superior,  
Ciencia, Tecnología e Innovación

**REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y  
TECNOLOGÍA**

**FICHA DE REGISTRO DE TRABAJO DE GRADUACIÓN**

<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b>	DETERMINACIÓN DE ARSÉNICO EN CAFÉ ARTESANAL COMERCIALIZADO EN EL CANTÓN ZARUMA, PROVINCIA DE EL ORO - ECUADOR		
<b>AUTOR(ES) (apellidos/nombres):</b>	VÁSQUEZ TORO CRISTHIAN ANDRÉS		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES) (apellidos/nombres):</b>	DR. WILSON POZO GUERRERO. BLGO. DAVID ELOY GARCÍA ASENCIO, MSC.		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL		
<b>UNIDAD/FACULTAD:</b>	FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES		
<b>TERCER NIVEL:</b>	INGENIERIA AMBIENTAL		
<b>GRADO OBTENIDO:</b>	INGENIERO AMBIENTAL		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	ABRIL 2020	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	93
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	CIENCIAS AMBIENTALES		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	ARSÉNICO, CAFÉ ARÁBIGO, SUELO, CONTAMINACIÓN, ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA, ZARUMA.		
<b>RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):</b>	<p>El arsénico (As) es un elemento altamente toxico que genera diferentes enfermedades, siendo la más común la arsenicosis causando problemas respiratorios, gastrointestinales, cardiovasculares y efectos cancerígenos en distintos órganos del cuerpo. La finalidad de esta investigación fue determinar los niveles de As presentes en café artesanal comercializado en el cantón Zaruma en las parroquias: Muluncay (marca CA), Guizhaguíña (marca CB) y Malvas (marca CC), para lo cual se tomaron muestras por triplicado de café molido e infusión, además de muestras de suelo para verificar el origen de la contaminación; Las muestras fueron analizadas por el método de espectrofotometría de absorción atómica cuyos resultados muestra que en café de infusión fue (&lt;0,0005 mg/Kg) lo cual indicó que no hay presencia de As en esta presentación. En café molido se registraron concentraciones en la marca CC (0.15 mg/Kg) y la menor en CA (0.08 mg/Kg); mientras que en el suelo, Malvas (7.233 mg/Kg) presento la mayor concentración, cuyos resultados no superan la normativa nacional INEN 1122 e internacional MERCOSUR, para café y AM097-A nacional e NOM-147 para suelo. Se concluye que café comercializado en el cantón Zaruma no representa peligro para el consumidor.</p>		
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> 0969921805	<b>E-mail:</b> cristhianvasquezto@gmail.com	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN:</b>	<b>Nombre: Blga. Miriam Salvador Brito</b>		
	<b>Teléfono: 593 4 3080777</b>		
	<b>E-mail: info@fccnugye.com miriam.salvadorb@ug.edu.ec</b>		



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



ANEXO XII

**LICENCIA GRATUITA INTRANSFERIBLE Y NO COMERCIAL DE LA  
OBRA CON FINES ACADÉMICOS**

Yo, **VÁSQUEZ TORO CRISTHIAN ANDRÉS**, con C.I. No 0705647352, certifico que los contenidos desarrollados en este trabajo de titulación, cuyo título es **DETERMINACIÓN DE ARSÉNICO EN CAFÉ ARTESANAL COMERCIALIZADO EN EL CANTÓN ZARUMA, PROVINCIA DE EL ORO - ECUADOR**, son de mi absoluta propiedad y responsabilidad, en conformidad al Artículo 114 del **CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN\***, autorizo la utilización de una licencia gratuita intransferible, para el uso no comercial de la presente obra a favor de la Universidad de Guayaquil.

**Cristhian Andrés Vásquez Toro**  
C.I. 0705647352



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



ANEXO XIII

*DETERMINACIÓN DE ARSÉNICO EN CAFÉ ARTESANAL COMERCIALIZADO EN  
EL CANTÓN ZARUMA, PROVINCIA DE EL ORO - ECUADOR*

*Author: Cristhian Andrés Vásquez Toro*

*Advisor: Blgo. David García Asencio, Msc.*

*Resumen*

El arsénico es un elemento altamente toxico que causa diferentes enfermedades. La finalidad de esta investigación fue determinar niveles de As presentes en café artesanal comercializado en el cantón Zaruma en 3 diferentes parroquias: Muluncay (CA), Guizhaguiña (CB) y Malvas (CC), para lo cual se tomaron muestras por triplicado de café molido e infusión, además muestras de suelo para verificar el origen de la contaminación; Los resultados de café en infusión fueron ( $<0,0005$  mg/Kg) lo cual indicó que no hay presencia de As en esta presentación. El café molido registro concentraciones en la marca CC (0.15 mg/Kg) y la menor en CA (0.08 mg/Kg); mientras que en suelo, Malvas (7.233 mg/Kg) presento la mayor concentración, cuyos resultados no superan la normativa nacional INEN 1122 e internacional MERCOSUR, para café y AM097-A nacional y NOM-147 para suelo. Se concluye que el café comercializado en Zaruma no representa peligro para el consumidor.

**Palabras Claves.**- Arsénico, café arábigo, suelo, contaminación, espectrofotometría de absorción atómica, Zaruma.



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



---

ANEXO XIV

*DETERMINATION OF ARSENIC IN CRAFT COFFEE MARKETED IN THE ZARUMA CITY, PROVINCE OF EL ORO - ECUADOR*

*Author: Cristhian Andrés Vásquez Toro*

*Advisor: Blgo. David García Asencio, Msc.*

**Abstract**

Arsenic is a highly toxic element that causes different diseases. The purpose of this research was to determine levels of As present in artisanal coffee marketed in the canton Zaruma in 3 different parishes: Muluncay (CA brand), Guizhaguiña (CB brand) and Malvas (CC brand), for which samples were taken by triplicate of ground coffee and infusion, in addition soil samples to verify the origin of the contamination; The results of coffee infusion were ( $<0.0005$  mg/kg) which indicated that there is no presence of As in this presentation. Ground coffee registers concentrations in the CC mark (0.15 mg/kg) and the lowest in CA (0.08 mg/kg); while in soil, Malvas (7,233 mg/Kg) presented the highest concentration, the results of which do not exceed the national INEN 1122 and international MERCOSUR standards, for coffee and AM097-A national and NOM-147 for soil. It is concluded that coffee marketed in Zaruma city poses no danger to the consumer.

**Keywords:** Arsenic, arabica coffee, soil, contamination, atomic absorption spectrophotometry, Zaruma

## DEDICATORIA

Con amor incondicional a mis padres Antonieta Toro y Carlos Vásquez,  
su apoyo y motivación me han llevado a cumplir mis sueños.

A mi tía Kathy Toro por creer en mí y haber forjado  
con sus consejos la persona que soy en la actualidad.

## AGRADECIMIENTOS

Dios me ayudo y cuido todos los días en esta etapa universitaria, mi familia incondicional con mucho amor me apoyo a cumplir esta meta.

Mis amigos que se convirtieron en mi familia, apoyándome de manera académica, emocional y alentándome a superar miedos que se presentaron en el camino.

A mi novia Camila Soledad Aguilar quien ha soportado todo mi estrés y ansiedad que conlleva la universidad, gracias por siempre creer en mí y darme la seguridad para siempre pensar de manera positiva. Te amo muchísimo por siempre corazón.

De manera especial agradezco a mi tutor Blgo. David García Asencio por toda la paciencia que tuvo conmigo en la realización de este trabajo, por compartir sus conocimientos y ser un ejemplo en la excelencia de docentes con las que cuenta la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad de Guayaquil.

De manera general agradezco a todos mis maestros por haber compartido sus conocimientos.

# TABLA DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPITULO I</b> .....	6
1.1 Planteamiento del Problema .....	6
1.2 Justificación .....	8
1.3 Hipótesis .....	10
1.4 Objetivos.....	11
1.4.1 Objetivo General.....	11
1.4.2 Objetivos Específicos .....	11
<b>CAPITULO II</b> .....	12
2.1 Antecedentes .....	12
2.2 Marco Teórico .....	16
2.2.1 Metales pesados .....	16
2.2.2 Arsénico .....	18
2.2.2.1 Arsénico en el Agua .....	19
2.2.2.2 Arsénico en el Suelo .....	20
2.2.2.3 Arsénico en las Plantas.....	21
2.2.2.4 Fitotoxicidad.....	22
2.2.2.5 Formas Químicas de Arsénico .....	23
2.2.2.6 Arsénico en alimentos .....	25
2.2.2.7 Propiedades Físico Químicas del Arsénico .....	26
2.2.2.8 Toxicidad.....	26
2.2.3 El cultivo del café.....	28
2.2.3.1 Origen .....	28
2.2.3.2 Clasificación Taxonómica.....	29
2.2.3.3 Café arábica (Coffea arábica) .....	30
2.2.3.4 Café Robusta (Coffea canephora).....	31
2.2.3.5 Diferencias entre el café Arábica y Robusta.....	31
2.2.3.6 Características óptimas para el desarrollo de un cafetal .....	32
2.2.3.7 Procesamiento del café.....	33
2.3 Marco Legal .....	34
<b>CAPITULO III</b> .....	37

3.1 Materiales y métodos .....	37
3.1.1 Área de Estudio .....	37
3.1.2 Metodología.....	40
3.1.2.1 Metodología de campo.....	40
3.1.2.1.1 Café .....	40
3.1.2.1.2 Suelo.....	42
3.1.2.2 Metodología de Laboratorio .....	43
3.1.2.2.1 Análisis físico-Químico .....	43
3.1.2.2.2 Análisis de textura de suelo.....	43
3.1.2.2.3 pH y Temperatura de Suelo .....	46
3.1.2.2.4 Humedad Cualitativa .....	46
3.1.2.2.5 Materia Orgánica.....	48
3.1.2.2.6 Conductividad y Salinidad .....	49
3.1.2.3 Procesamiento de muestras de café .....	50
3.1.2.3.1 Café Molido .....	50
3.1.2.3.2 Café en Infusión .....	51
3.1.2.3.3 Suelo.....	51
3.1.2.3.4 Transporte de muestra .....	51
3.1.2.4 Método de laboratorio ANAVANLAB .....	52
3.1.2.4.1 Manejo de muestras .....	53
3.1.2.4.2 Procedimiento para el análisis de As en muestras sólidas .....	53
3.1.2.4.3 Procedimiento para el análisis de As en muestras líquidas .....	54
3.1.2.4.4 Lectura de resultados.....	54
3.1.2.5 Análisis estadístico de datos .....	54
3.1.2.5.1 Suelo.....	54
3.1.2.5.2 Variables Físico-Químicos.....	55
3.1.2.5.3 Correlacionar los parámetros físico-químicos con la presencia de arsénico .....	55
<b>CAPITULO IV .....</b>	<b>57</b>
4.1 Resultados .....	57
4.1.1 Análisis de variables físicas y químicas del suelo de 3 parroquias del cantón Zaruma donde se cultiva café arábigo. ....	57
4.1.1.1 pH.....	57

4.1.1.2	Temperatura del suelo .....	58
4.1.1.3	Materia Orgánica.....	58
4.1.1.4	Conductividad .....	59
4.1.1.5	Humedad .....	60
4.1.1.6	Textura.....	60
4.1.2	Niveles de arsénico en café artesanal .....	61
4.1.2.1	Niveles de As en Café Molido .....	63
4.1.3	Niveles de arsénico en el suelo .....	64
<b>CAPITULO V</b>	.....	<b>68</b>
5.1	Discusión .....	68
<b>CAPITULO VI</b>	.....	<b>73</b>
6.1	Conclusiones .....	73
6.2	Recomendaciones .....	75
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	.....	<b>76</b>
<b>ANEXOS</b>	.....	<b>85</b>

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Nomenclatura de compuestos orgánicos e inorgánicos del arsénico en diferentes medios ambientales.....	24
<b>Tabla 2.</b> Zonas cafeteras en la Provincia de Manabí .....	28
<b>Tabla 3.</b> Provincias cafeteras del Ecuador.....	29
<b>Tabla 4.</b> Codificación y Georreferenciación de las parroquias del cantón Zaruma objeto de estudio.....	38
<b>Tabla 5.</b> Determinación de la textura mediante el método "Feel" .....	44
<b>Tabla 6.</b> Tabla de Materia Orgánica para la interpretación de resultados .....	49
<b>Tabla 7.</b> Rangos absolutos de correlación de Spearman (Evans, 1996).....	56
<b>Tabla 8</b> Niveles de pH de suelos de Parroquias .....	57
<b>Tabla 9.</b> Concentración de arsénico en café molido de origen artesanal .....	62
<b>Tabla 10.</b> Concentraciones de arsénico en café en infusión de origen artesanal. ....	62
<b>Tabla 11</b> Comparación de las concentraciones de arsénico en café molido e infusión entre los diferentes marcas comercializadas en el cantón Zaruma CA, CB Y CC. Bajo la normativa Nacional e internacional. Fuente: (Vásquez, 2020) .....	65
<b>Tabla 12</b> Comparación de las concentraciones de arsénico en suelo de tres diferentes parroquias del cantón Zaruma donde se cultiva café arábigo con respecto a la normativa nacional e internacional. Fuente: (Vásquez, 2020) .....	66
<b>Tabla 13</b> Porcentaje de varianza explicada por los tres primeros componentes del análisis de componentes principales (ACP) aplicados a las variables medidas en los suelos donde se cultiva café arábigo en el cantón Zaruma. Fuente: (Vásquez, 2020). .....	67

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Delimitación de la Provincia de el Oro y Cantón Zaruma.....	37
<b>Figura 2.</b> Ubicación geográfica de los sitios de muestreo en el cantón Zaruma.....	39
<b>Figura 3.</b> Fincas donde se colectaron muestras de café artesanal en el cantón Zaruma, provincia de El Oro: a) Finca Don Murillo (Muluncay Chico) b) Finca la Cascada (Guizhaguiña). <b>Fuente:</b> (Vásquez, 2020).....	41
<b>Figura 4.</b> Selección de la muestra por lote de cada finca en el cantón Zaruma, provincia de El Oro: a) Recolección de muestras por lote de cosecha b) Café molido listo. <b>Fuente:</b> (Vásquez, 2020).....	41
<b>Figura 5.</b> Toma de muestra de suelo de las parroquias Muluncay Chico, Guizhaguiña y Malvas en el cantón Zaruma, provincia de El Oro: a) Acondicionando el punto para excavar b) Excavando para la toma de muestra y c) Toma y empaque de muestra en funda Ziploc. <b>Fuente:</b> (Vásquez, 2020).....	42
<b>Figura 6.</b> Uso de Medidor Gobbeter 4 in 1 en el suelo agrícola de las parroquias Muluncay Chico, Guizhaguiña y Malvas del cantón Zaruma, provincia de El Oro: <b>a)</b> Introduciendo sensor de Medidor en el suelo <b>b)</b> Lectura de resultados. <b>Fuente:</b> (Vásquez, 2020).....	46
<b>Figura 7.</b> Análisis de Humedad del suelo agrícolas de las fincas cafeteras del cantón Zaruma, provincia de El Oro: <b>a)</b> Tamizado de la muestra <b>b)</b> Pesado y codificación del recipiente <b>c)</b> Pesado de la muestra <b>d)</b> Secado de la muestra. <b>Fuente:</b> (Vásquez, 2020).....	47
<b>Figura 8.</b> Muestras en mechero. <b>Fuente:</b> (Vásquez, 2019) .....	48
<b>Figura 9.</b> Medición de variables químicas del suelo: <b>a)</b> Muestras Decantadas <b>b)</b> Lectura de resultados. <b>Fuente:</b> (Vásquez, 2020) .....	50
<b>Figura 10.</b> Codificación de muestras de café molido .....	50
<b>Figura 11.</b> Preparación de la infusión .....	51
<b>Figura 12.</b> Total de muestras enviadas al laboratorio .....	52
<b>Figura 13.</b> Temperatura de los suelos agrícolas donde se cultiva el café arábigo en las diferentes parroquias del cantón Zaruma; letras diferentes indican que hay diferencias significativas según Tukey ( $p < 0.05$ ). Los resultados están expresados como media $\pm$ desviación estándar. <b>Fuente:</b> (Vásquez, 2020) .....	58

<b>Figura 14.</b> Materia Orgánica de los suelos donde se cultiva el café arábigo en las diferentes parroquias del cantón Zaruma; letras diferentes indican que hay diferencias significativas según Tukey ( $p < 0.05$ ). Los resultados están expresados como media $\pm$ desviación estándar. <b>Fuente:</b> (Vásquez, 2020) .....	59
<b>Figura 15.</b> Conductividad eléctrica de los suelos agrícolas donde se cultiva el café arábigo en las diferentes parroquias del cantón Zaruma; letras diferentes indican que hay diferencias significativas según Tukey ( $p < 0.05$ ). Los resultados están expresados como media $\pm$ desviación estándar. <b>Fuente:</b> (Vásquez, 2020) .....	59
<b>Figura 16.</b> Humedad de los suelos agrícolas donde se cultiva el café arábigo en las diferentes parroquias del cantón Zaruma; letras diferentes indican que hay diferencias significativas según Tukey ( $p < 0.05$ ). Los resultados están expresados como media $\pm$ desviación estándar. <b>Fuente:</b> (Vásquez, 2020) .....	60
<b>Figura 17.</b> Porcentaje de arcilla, limo y arena en suelo donde se cultiva café arábigo en 3 parroquias del cantón Zaruma. <b>Fuente:</b> (Vásquez, 2020) .....	61
<b>Figura 18.</b> Concentraciones de Arsénico en café molido proveniente de las parroquias: Muluncay Chico (CA), Guizhaguiña (CB) y Malvas (CC) comercializado en el cantón Zaruma. Los resultados están expresados como media $\pm$ desviación estándar. <b>Fuente:</b> (Vásquez, 2020) .....	63
<b>Figura 19.</b> Representación gráfica de las diferencias significativas de la concentración de As entre las parroquias: Muluncay Chico (CA), Guizhaguiña (CB) y Malvas (CC) obtenido en el café arábigo comercializado en el cantón Zaruma; se toma como referencia $p < 0.05$ . <b>Fuente:</b> (Vásquez, 2020) .....	63
<b>Figura 20.</b> Concentraciones de Arsénico en Arsénico en suelo de las parroquias donde se cultiva café Arábigo: Muluncay Chico (CA), Guizhaguiña (CB) y Malvas (CC). Los resultados están expresados como media $\pm$ desviación estándar. <b>Fuente:</b> (Vásquez, 2020) .....	64
<b>Figura 21.</b> Representación gráfica de las diferencias significativas de la concentración de As presentes en el suelo entre las parroquias: Muluncay Chico (CA), Guizhaguiña (CB) y Malvas (CC); se toma como referencia $p < 0.05$ según Kruskal-Wallis. <b>Fuente:</b> (Vásquez, 2020) .....	64

**Figura 22.** Proyección ortogonal de los dos primeros componentes del Análisis de Componentes Principales del As en suelo entre las variables ambientales de los suelos agrícolas de las parroquias del cantón Zaruma. **Fuente:** (Vásquez, 2020) ....67

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1</b> Reconocimiento del área de estudio.....	85
<b>Anexo 2</b> Toma de muestras de café molido y suelo .....	86
<b>Anexo 3</b> Preparación de café en infusión .....	86
<b>Anexo 4</b> Análisis fisicoquímico de las muestras .....	87
<b>Anexo 5</b> Análisis de Arsénico a muestras de café molido, marcas (CA, CB Y CC) realizado en el Laboratorio Analítica Avanzada – Asesoría y Laboratorios ANAVANLAB Cia. Ltda. ....	88
<b>Anexo 6</b> Análisis de Arsénico a muestras de café en infusión, marcas (CA, CB Y CC) realizado en el Laboratorio Analítica Avanzada – Asesoría y Laboratorios ANAVANLAB Cia. Ltda. ....	89
<b>Anexo 7</b> Análisis de Arsénico a muestras de suelo de las parroquias Muluncay Chico, Guizhaguiña y Malvas del cantón Zaruma donde se cultivan las marcas (CA, CB Y CC) de café arábigo, realizado en el Laboratorio Analítica Avanzada – Asesoría y Laboratorios ANAVANLAB Cia. Ltda. ....	90
<b>Anexo 8</b> Pruebas de normalidad con el software estadístico Minitab versión 17.0. ..	91
<b>Anexo 9</b> Transformación de Jonhson con el software estadístico Minitab versión 17.0.....	92
<b>Anexo 10</b> Aplicación de prueba de Tukey con el software estadístico Minitab versión 17.0.....	93

## INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental que afecta a la sociedad del siglo XXI, es uno de los problemas más importantes que afectan a la sociedad actual por la pérdida de los recursos naturales, alterando la disponibilidad de los suelos para ejercer actividades agrícolas a través de los años (Reyes Y. , Vergara, Torres, Díaz, & González, 2016).

Los metales pesados se distribuyen en el medio de forma natural y estos a su vez poseen la propiedad de no destruirse por actividades antropogénicas ni por procesos biológicos; es decir son persistentes en el ambiente. Una vez que los metales han entrado a un ecosistema, estos se transforman a través de procesos biogeoquímicos y se los encuentra en diferentes condiciones físico-químicas como: Material particulado, coloidal y especies disueltas (Martorell, 2010).

En la corteza terrestre se encuentran compuestos ricos en arsénico, aunque con características químicas muy diversas; Este compuesto presenta su forma orgánica (mayormente está más presente en organismos marinos y contienen muy poca toxicidad), mientras que en su forma inorgánica (son las más tóxicas) puede ser absorbida por las plantas a través de suelos o aguas que se encuentren contaminados por este compuesto (Gimferrer Morató, 2010). Una exposición prolongada al arsénico inorgánico, principalmente a través de consumo directo de agua o comida preparada con cultivos alimentarios regados con agua rica en arsénico puede causar intoxicación crónica (OMS, 2018).

Los principales medios en los que el arsénico entra en contacto con los seres vivos son: inhalación de aire, ingestión de alimentos, agua y absorción dérmica. Existiendo una gran variedad de fuentes por las cuales se puede estar expuesto al arsénico tales como: uso de herbicidas y pesticidas, minería y metalurgia, el uso de combustibles fósiles, contacto con madera prensada tratadas con preservantes arsenicales, ingesta

de agua o alimentos contaminados, aunque cabe recalcar que la mayor exposición al arsénico se da a través de alimentos y agua (Kim Gehle MD, 2009); (Medina, Robles, Mendoza, & Torres, Arsenic Intake: Impact in Human Nutrition and Health, 2018).

El arsénico es considerado como un agente cancerígeno para humanos y nocivo para plantas y animales. La mayor amenaza para la salud se ve radicada en el consumo de alimentos, beber agua y por el riego de cultivos por la transferencia del sistema agua – suelo – cultivo (Herrera, Carrasco, Sandoval, & Cortés, 2019).

OMS, (2018) estableció que la exposición de altos niveles de arsénico inorgánico durante un periodo prolongado de tiempo, por consumo de agua o alimentos que contengan cantidades de arsénico mayores a 0.01 mg/lit pueden llegar a causar arsenicosis; Así mismo, esta institución ha descrito efectos agudos presentando síntomas inmediatos por intoxicación de arsénico como: dolor abdominal seguido de diarrea y entre los efectos colaterales se observan entumecimiento en las manos y pies, calambres musculares y muerte en casos extremos.

A nivel mundial Bangladesh fue el primer país que registró problemas de contaminación por arsénico en los años 90, siendo el recurso agua el principal foco de estudios sobre este metal. Es así, que el agua de pozos (subterránea) que se utilizaba para riego en la agricultura represento una amenaza de alrededor de 30 millones de personas (Heikens, 2006). En América latina países como: Argentina, Chile, Perú y México han determinado la presencia de arsénico en aguas subterráneas y superficiales de fuentes geotécnicas (incluidas las que se liberan a través de actividades mineras). En países como Bolivia, Brasil, Ecuador, Nicaragua y El Salvador este problema se ha investigado en los últimos años (Bundschuh, J., Armienta, M., Aurora, Birkle, P., Bhattacharya, & Prosun. 2009).

El mayor impacto en la salud de las personas se localiza en países como: Argentina, Bangladesh, Nepal, Chile, China, Hungría, India, México, Rumania, Taiwán, Vietnam y EE.UU. y En América Latina se ven afectados alrededor de 14 países como Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Cuba, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Perú y Uruguay en los cuales se ha podido estimar alrededor de 14 millones de personas expuestas. Hay que resaltar que las áreas más críticas están en Argentina, Chile y México (Red de Seguridad Alimentaria del CONICET, 2018).

Los cultivos de café en el Ecuador se encuentran distribuidos en las regiones costa, sierra, oriente y región insular, y debido a las diversas características climáticas que poseen en su edafología y ubicación geográfica, el café de Ecuador es uno de los mejores producidos a nivel de América del Sur, posicionándolo así como uno de los más demandados en EE.UU y Europa. En Ecuador se da principalmente la producción del café Arábigo (62%) y en una menor cantidad la Robusta (38%) (MAGAP, 2014).

El café tiene relevancia sociales, ambiental y la salud humana, económicamente hablando es una fuente de ingreso de dinero para el país, productores u otros actores de la cadena que en el 2015 represento ingresos por USD 145.354.370.31 según estadísticas del MAGAP. A nivel social la caficultura involucra a gran parte de las etnias presentes en el país como Kichwas, Shuaras y Tsáchilas. En lo ambiental el café es cultivado en sistemas agroforestales contribuyendo así a la conservación de recursos naturales y biodiversidad y finalmente en lo relacionado a la salud se estableció que el consumo de café se muestra beneficioso en contra del riesgo de la diabetes tipo 2, daño hepático y enfermedades neurodegenerativas como es el Parkinson (Duicela, Farfán, & Garcia, 2016).

En 23 de las 24 provincias del Ecuador se cultiva café Arábigo. La provincia de El Oro, Loja y Manabí representan 80% del área en la cual se cultiva este tipo de café y

el 20% restante se representa en la distribución de las 19 provincias restantes (Guambi, Velásquez , & Farfán , 2017).

En la provincia de El Oro las condiciones geográficas y climáticas propicias para el cultivo del café, se dan en zonas tropicales cálido a un subtropical, con temperaturas que oscilan de 19.9 °C a 27 °C, y una altitud de 0 que alcanza hasta los 1.720 m.s.n.m (Jiménez & Massa, 2015) y (González, 2018). Es así que en esta provincia existen más de 1500 productores dedicados al cultivo de café, con relevancia los cantones de Las Lajas, Marcabelí, Piñas, Balsas, Portovelo, Zaruma, Atahualpa, Arenillas y Santa Rosa. El total de hectáreas cultivadas de café en la provincia del oro son 1657 ha en 2012, predominando la producción de café de tipo arábigo (Ministerio de Agricultura Ganadería Acuicultura y Pesca, 2018).

En el Ecuador se cultivan principalmente 2 especies de café, *Coffea arábica L.* (Arábigo) y *Coffea canephora Pierre ex* (robusta). La presencia de tecnologías han permitido incrementar la producción a tres tm/ha en arábigo y cinco tm/ha en robusta, esto hablando de caficultores pioneros en fincas de alto rendimiento. Por el contrario los caficultores de baja producción nacional cuentan con una producción aproximada de tan solo 270 kg/ha (Ponce , Orellana, Acuña, Alfonso, & Fuentes, 2018).

En Zaruma se produce café arábigo de calidad gracias a las buenas condiciones climatológicas y ambientales del cantón, catalogándose así como uno de los cafés más exquisitos y reconocidos del país, de esta manera haciéndolo un café de exportación reconocido a nivel nacional e internacional y acreedor de varios premios de calidad. El cantón al ser un centro de explotación minera, en su mayoría minería artesanal, no se ha realizado estudios sobre las concentraciones de metales pesados en cultivos y productos que son comercializados. Siendo el café uno de los productos más afamados de la zona, que se comercializa a nivel cantonal, regional y nacional no se ha registrado presencia de Arsénico.

Zaruma es reconocida nacionalmente como una ciudad patrimonial del Ecuador que se encuentra ubicada al sureste de la provincia de El Oro, es reconocida por sus edificios patrimoniales, exquisito y aromático café, como también por la gran explotación minera que se realiza en este sector.

# CAPITULO I

## 1.1 Planteamiento del Problema

Latinoamérica lidera mundialmente la producción de café más importante del mundo, lo que ha representado más de 60 millones de sacos de café al año en la última década (FAO, 2010). Mientras que en Sudamérica durante el 2012 y 2013 se incrementó la producción con un total de 67,6 millones de sacos de café cifras que hicieron que se posicionara como la mayor región productora de café; la cual representa el 46.6% del total de la producción a nivel mundial (ICO, 2012). La producción de café en el Ecuador se mantuvo casi igual a lo reportado en el 2011 y 2012, con un total de 23.829 toneladas entre las dos especies de café: *Coffea arábica* L y *Coffea canephora* Pierre ex (MAGAP 2012).

Debido a su ubicación geográfica Ecuador posee una gran capacidad para producir café, es por esto que este país produce uno de los mejores cafés de la región y de mayor demanda en Europa por su buena calidad e intensos sabores (Jimenes Torres & Massa Sanchez, 2016).

Rodríguez-Eugenio, N., McLaughlin, M. y Pennock, D. (2019) establecieron que el principal tensor que afectan la calidad y producción de café es la contaminación del suelo, afectando la seguridad alimentaria al reducir el rendimiento agrícola debido al aumento de la toxicidad de los contaminantes en los cultivos haciendo que sus cosechas no sean aptas para su consumo.

Los contaminantes se transfieren desde las aguas superficiales, subsuperficiales y subterráneas hacia el suelo, ocasionando daños directos a la salud humana. Es así, que el impacto de los contaminantes modifican los ciclos biogeoquímicos del suelo, alterando la composición microbiológica de éste y como consecuencia de estos cambios va a modificar la transferencia de energía entre un taxón a otro, afectando la

biodiversidad del suelo y los servicios ecosistémicos que estos brindan a los organismos que lo habitan.

FAO y GTIS, (2015) considera que la tercera amenaza más importante en las regiones de Europa, África, Norteamérica y Latinoamérica es la contaminación del suelo, por la presencia de diferentes contaminantes que puede llegar a producir un desequilibrio en los ciclos de nutrientes y llegar así mismo a acidificar el suelo. La contaminación de metales como el arsénico, plomo, cadmio, químicos orgánicos como BPC ( bifenilos policlorados), HAP ( hidrocarburos aromáticos policíclicos) y productos farmacéuticos como antibióticos, son los principales riesgos para la salud humana (Rodríguez-Eugenio et al, 2019).

En Ecuador, Bolivia, Honduras, Brasil, Nicaragua, Chile, México, El Salvador y Perú se han revelado altos niveles de arsénico en granos, leche de vaca y hortalizas, incluyendo cebolla, papa, calabazas, remolacha, rábano. Así mismo la ingesta de arsénico también se da por la cerveza o vino. (Medina, Robles, Mendoza, & Torres, 2018) El grado de exposición con el metal arsénico ocasiona efectos crónicos los mismos que afectan varios sistemas y órganos, incluyendo la piel, sistema cardiovascular, vías respiratorias, genitourinario, inmunológico, digestivo, reproductivo, nervioso, así como también afecta a los diferentes sistemas endocrino, eritropoyético, renal y hepático. Y en casos extremos la muerte producto de tumores cancerígenos a nivel de piel, vejiga y pulmones, siendo este último el más común por la exposición al arsénico (Medina et al, 2018).

En la actualidad y a lo largo de todo el mundo, se encuentran depósitos de desechos mineros y escorias de fundiciones que contienen grandes cantidades de arsénico y metales pesados asociados (Carbonell Barrachina, Mataix Beneyto, & Burló Carbonell, 1995). Es así, que el cantón Zaruma se caracteriza por las actividades mineras que se realizan en la zona, ya que es la principal fuente económica

de la población que lo habita. Las empresas mineras generan fuentes de trabajo, que a su vez es bien remunerado; Pero sin embargo, esta industria emite residuos de material estéril rico en arsénico y otros minerales, afectando a los recursos naturales (agua, suelo y aire), como consecuencia de la minería ilegal y el no cumplimiento de la normativa vigente por parte de las empresas mineras.

## **1.2 Justificación**

El comportamiento del consumidor en el mundo ha cambiado de manera sostenible a favor de los cafés de alta calidad y sobre todo de responsabilidad ambiental y social (Jacome & Varela, 2012). Condición que garantiza los cumplimientos de los objetivos de Desarrollo Sostenible – ONU con énfasis el objetivo 12 sobre la producción y consumo responsable.

El cultivo de café arábigo en el país se encuentra clasificado como una de las actividades agrícolas más importantes, es por eso que se ha ubicado dentro de los 10 cultivos con mayor demanda de superficie nacional (Andrade, 2017). La Asociación Nacional de Exportadores de Café (2017), indica las exportaciones de sacos de café arábigo que se han realizado los cuales han sido de 695.144,04 sacos de 60 Kg de las dos especies más comercializadas en el mundo, las cuales son el arábigo y robusta, teniendo un valor de ingresos de ese año de \$116.699.943,13

En la provincia de El Oro el 80% de personas que habitan en el centro urbano de Machala consumen café, El consumo per capital de café estimado para el año 2015 fue de 1.72 gr/persona/año para habitantes de Machala, cuya frecuencia de tomar café da como resultado un promedio de 343 tz/año lo que representa una taza diaria (Pizarro, Barrezueta, & Eveligh, 2016). La calidad del café de Zaruma se destaca por ser cosechado en terrenos de suave brisa, abundante sol, lluvias copiosas entre diciembre y abril, con temperaturas que oscilan entre 18° C a 24° Cel cual se

caracteriza por ser muy afrutado bajo producción sin químicos el mismo que se cosecha una vez al año. Es así, que se ha reportado que el 74% de la población urbana de Zaruma consume café a un 95% de confianza (Zeas, 2010).

Las concentraciones de metales pesados en los suelos, producto de la cianuración y los relaves de amalgamación, tienen niveles que superan los límites establecidos según la normativa ecuatoriana. Los estudios realizados por el FUNSAD en los relaves de Vivanco (Zaruma) y Chancha Gerais (Portovelo), muestran concentraciones de plomo (1796.8- 4060.0 mg/Kg), arsénico (396.0-8800.0 mg/Kg), zinc (513.0-2670.0 mg/Kg), cadmio (27.0-44.1 mg/Kg), y mercurio (1.0-35.9 mg/Kg), que sobrepasan lo establecido por la norma de calidad de suelo establecido por el Ecuador (AM 097-A); (Oviedo, Moina , Naranjo, & Barcos, 2017).

El estudio sobre “transferencia de elementos traza potencialmente tóxicos en cultivos desarrollados en suelos con influencia minera” realizado por (Inès, 2015) indico que la acumulación de arsénico contenido en diferentes especies vegetales y su transferencia hacia la planta va a depender del contenido de arsénico biodisponible en el suelo.

El arsénico presente en suelos puede ser toxico para las plantas y bioacumularse en ellas por varios factores físico químicos, de esta manera entra a la cadena alimentaria humana, lo cual perjudica directamente a nuestro organismo por consecuencia de su alta toxicidad y facilidad de movilización. Por este motivo la Agencia de protección Ambiental (EPA) ha establecido que el límite permisible para consumo humano sea de 0.05 mg/L, mientras que para la normativa ecuatoriana el límite permisible de arsénico en alimentos es máximo 0.1 mg/Kg según el método de Ensayo INEN 269 (Polo M. P., 2009).

El cantón Zaruma al ser netamente de origen minero, existe poca información disponible sobre la concentración de metales pesados en cultivos y productos que son comercializados. El café es uno de los productos que mayormente se produce y comercializa a nivel cantonal, regional y nacional. Sin embargo, no se han registrado la presencia de arsénico en cultivos de café, siendo este uno de los productos más consumidos por la población.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el arsénico se encuentra entre las 10 sustancias químicas más preocupantes para la salud pública por lo cual podría estar poniendo en riesgo la salud de los ecuatorianos (OMS, 2018). Un análisis preliminar sobre el perfil de metales pesados en diferentes marcas de café artesanal que se comercializa en el cantón Zaruma, cuyo análisis de laboratorio se realizó en el Laboratorio Ambiental Grupo Químico Marcos S.A. No se registró la presencia de plomo, cadmio y mercurio, mientras que el metal arsénico registro un promedio de 0.359 mg/kg superando el límite máximo permisible (LMP) establecido por la MERCOSUR 0.20 mg/kg de arsénico en el café.

### **1.3 Hipótesis**

- La concentración de arsénico en suelos agrícolas incide en la transferencia de este metal en el café (*Coffea arábica*) que se produce y comercializa en el cantón Zaruma.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

Determinar las concentraciones de arsénico en café artesanal comercializado en el cantón Zaruma provincia de El Oro

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Analizar las variables físicas y químicas del suelo en las plantaciones de café en tres localidades del cantón Zaruma.
- Establecer los niveles de arsénico en café artesanal (molido e infusión) y suelos agrícolas de plantaciones de café en las parroquias Muluncay, Guizhaguiña y Malvas.
- Comparar las concentraciones de arsénico entre las presentaciones de café artesanal, suelo agrícola y la normativa nacional e internacional vigente.
- Correlacionar que variable ambiental incide en la concentración de arsénico en los suelos agrícolas del cantón Zaruma.

## CAPITULO II

### 2.1 Antecedentes

El inicio cafetero se dio en el continente africano seguido por Europa, siendo su población quienes en busca del continente americano llevaron consigo granos de café; Cuya trayectoria se da en la revolución haitiana hacia Sur América. Es así, que desde el siglo XVIII se produce café en países como Brasil, Ecuador, Perú, Bolivia y Venezuela, cuya expansión de cultivo de café a cambio completamente el paisaje de regiones intertropicales de media altura en diferentes países de Latinoamérica (Figuerola, Pérez, & Godínez, 2015).

En zonas tropicales existen más de 25 millones de personas que dependen del café para subsistir, siendo este el soporte económico de muchos países; y a su vez se ubica como el segundo producto más comercializado en el mundo después del petróleo. Es así, que el café es considerado como producto primario más valioso y segundo en valor únicamente; superado por el petróleo como fuente de divisas para países en desarrollo (Figuerola, Pérez, & Godínez, 2015).

En el Ecuador La Asociación Nacional de Exportadores de Café (ANECAFE, 2017), ha estimado un total de 168.000 hectáreas de siembra de cultivos de café en el Ecuador; siendo la región costa la que lidera con más hectáreas de café cultivado con un total de 112.000 hectáreas, la región amazónica se coloca en un segundo lugar con 55.000 hectáreas, y como tercer lugar está la región insular Galápagos con aproximadamente 1000 hectáreas de cafetales.

Esta amplia distribución en todo el estado ecuatoriano se debe a que el Ecuador tiene producción mixta entre las especies comerciales las cuales son arábica (*Coffea arábica*) el cual es considerado café de altura ya que necesita ser cultivado en zonas

altas de entre 1000 y 2000 msnm con clima templado, y Robusta (*Coffea Cenephora*) el cual es cultivado en zonas bajas a altitudes menores a 1000 msnm en clima caliente y húmedo (Delgado, Larco, Alcivar, Chilán, & Patiño, 2002).

Por otro lado, se considera que los metales pesados son más evaluados en alimentos que en cualquier otro producto, debido a la capacidad de acumulación que tienen en la cadena trófica. Estos se consideran elementos que permanecen en el ambiente acumulándose en el suelo debido a procesos de meteorización de rocas y formación de suelos, condiciones ambientales, prácticas tecnológicas y/o uso de químicos. Algunos metales son biológicamente cruciales para los organismos vivos en bajas concentraciones, estos son: el cobre, manganeso, cromo, zinc, níquel. Sin embargo elementos como Arsénico, plomo, mercurio, uranio y titanio no son esenciales y ejercen efectos nocivos en diferentes partes de la biosfera, estos se denominan metales tóxicos (Alves, y otros, 2016).

A finales de los años 90 en Bangladesh se descubrió que millones de pozos poco profundos construidos en los años 70 contenían altos niveles de arsénico de 10, 20 y hasta 50 veces más a los límites permisibles establecidos por la OMS. El arsénico se encuentra presente de forma natural en acuíferos poco profundos a consecuencia de partículas de óxido de hierro que bajan desde el Himalaya y recorren el Ganges llegando hasta este país, donde se depositan en ciénagas y zonas pantanosas en este lugar la vegetación presente en descomposición hace que se rompan y liberen el arsénico al agua de las capas freáticas que se encuentran próximas a la superficie. Los agricultores de Bangladesh que consumen agua y arroz (el arroz ha sido uno de los cultivos con más presencia de concentraciones elevadas de arsénico).

Cuando se descubrió la presencia de arsénico EL Banco Mundial inicio el análisis de los pozos del país, el cual demostró que aproximadamente el 20% de estos estaban

contaminados por arsénico, alrededor de 57 millones de personas estaban siendo afectadas (Loewenberg, 2017).

En Latinoamérica existe una población de aproximadamente 5 millones de habitantes expuestas al arsénico por agua de bebida y alimentos contaminados afectando a la salud de tal manera que países como: México y Argentina consideraron que este metaloide causa problemas en la salud pública en América Latina. La población más expuesta al arsénico son áreas rurales que consumen agua sin ningún tipo de tratamiento y no tiene conocimiento el riesgo que esto conlleva; Generando en la población lesiones en la piel, diabetes, anemia, alteraciones al hígado, enfermedades vasculares, cáncer de piel, pulmón y vejiga (Castro, 2004).

Las concentraciones de arsénico presente en las plantas están relacionada a la cantidad existente en el suelo, estas pueden ser en pequeñas cantidades en comparación con las grandes cantidades que pueden contener suelos contaminados. Algunos suelos que nunca han sido tratados con pesticidas a base de arsénico fluctuaron entre 0.01 y 5 mg/kg en peso seco, a diferencia de plantas que crecen en suelos contaminados, y contienen niveles mayores de contaminación especialmente en las raíces y frutos de las plantas (Walsh, Summer, & Keeney, 1997).

Col y Zaidi, (2005) analizaron 20 elementos traza como: cobalto, cromo, manganeso, zinc, bario, antimonio, sodio, potasio, mercurio, arsénico, selenio, bromo, cloro rubidio, escandio, indio, europio, iterbio, hierro y escandio en granos de café provenientes de Brasil, Caribe, India y Kenia y dos productos de café instantáneo comercializado en Pakistán empleando el método de activación de neutrones. Cuyos resultados muestran que el manganeso fue el metal con mayor concentración en los granos de café provenientes de Brasil y Kenia con valores promedios de 486 y 495 mg/día. Según la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos estable que

por persona se puede consumir de manera indirecta por día entre 0.5 a 5 mg/Kg de manganeso.

Un estudio realizado por la Universidad de Murcia en el 2015 estableció la transferencia de elementos traza potencialmente tóxicos en cultivos desarrollados en suelos con influencia minera, demostrando que la acumulación de arsénico en especies vegetales tales como: lechuga “baby”, puerro, cebolla, brócoli, alfalfa, lechuga “Icebearg” y acelga cultivados en suelos contaminados la concentración de arsénico varía en función de la especie e incluso de la variedad. Así mismo, relaciono que los niveles más elevados para alfalfa, acelga y lechuga “Icebearg”, varia en las distintas etapas de crecimiento de las plantas y el tipo de suelo siendo más propenso a concentraciones en joven que adulto. Por tanto las concentraciones de arsénico en la planta van a depender de las concentraciones de arsénico que se encuentre biodisponible en el suelo y los valores presentes en lechuga y acelga son 0.25 mg/kg, la transferencia de arsénico de la raíz la hoja de la acelga es más elevada en acelga FT de 0.3 - .07 mg/kg que en lechuga Icebearg (Agudo, 2015).

(Condezo & Huaraca, 2018), estimaron la cuantificación de plomo, cadmio y arsénico en granos de café (*Coffea arábica*) de la zona de Jaén – Cajamarca en Perú durante el periodo febrero – Julio 2018, por el método de absorción atómica en horno de grafito e hidruros FIAS. Cuyos resultados muestran que en los granos de café la concentraciones promedio de arsénico y cadmio presentaron valores promedios de 0.11 mg/Kg, cabe indicar que la diferencia de estos metales es que el 100% de la muestras no supera la norma para As, y para Cd el 12% de la muestra sobrepasa los límites máximos permisibles establecidos por la MERCOSUR; finalmente el plomo registro un valor promedio de 1.18 mg/Kg donde el 25% de las muestras superaron los límites máximos permisibles dados por la MERCOSUR.

A nivel local en la provincia de El Oro, parroquia La Cuca (Cantón Arenillas) han evaluado las concentraciones de arsénico total en suelo, agua y planta de arroz usando el método de absorción atómica-generación de hidruros-fías cuyos resultados muestran que el valor más bajo se registró en el agua con 0.00012 mg/kg, seguido por granos de arroz con 0.186 mg/kg y en suelo se obtuvo el mayor valor con 3.302 mg/kg. El grano de arroz presenta elevados niveles de arsénico, esto es consecuencia de la bioacumulación de As en la planta ya que se relaciona con la disponibilidad de As presentes en el suelo y agua, por otra parte existe la relación fisiológica entre la planta y el grano donde al contener mayor concentración de As en el tallo este aumenta en el grano (Salvador, Rainiero, & Yopez, 2017).

(Viñan, 2019) determinó plomo en café artesanal e industrial comercializado en la provincia de Loja, en tres presentaciones de café en sus diferentes presentaciones (grano, molido e infusión) y se realizó un análisis al suelo para conocer si el origen de la contaminación proviene del suelo, esto se realizó mediante el método de espectrofotometría de absorción atómica cuyos resultados dejan ver que el café en grano con 1.49 mg/kg, café molido con 2.22 mg/kg y suelo con 23.60 mg/kg superan los límites permisibles establecidos por la normativa nacional e internacional. Mientras que los resultados obtenidos en el café en infusión se encuentran por debajo del límite de detección (0.1 mg/kg) del laboratorio Anavanlab. Se concluyó que el consumo de café no representa riesgo alguno para la salud ya que la infusión no presenta contaminación por plomo.

## **2.2 Marco Teórico**

### **2.2.1 Metales pesados**

Los metales pesados son elementos químicos con alta densidad en su composición (mayor a 4 g/cm<sup>3</sup>), con una masa y peso atómico superior a 20, que pueden ser tóxicos

en bajas concentraciones. Entre los cuales tenemos: Arsénico, Cadmio, Cobre, Mercurio, Plomo, Cromo, Níquel, Selenio y Zinc (Londoño, Londoño, & Muñoz, 2016).

Los metales pesados se pueden encontrar de dos formas: natural y antropogénica; En el medio ambiente se encuentra de manera natural en condiciones ambientales diferentes y determinadas. Entre las cuales se incluyen las emisiones naturales por erupciones volcánicas, aerosoles de sal marina, incendios forestales, meteorización de rocas, fuentes biogénicas y partículas de suelo transportadas por el viento. Los metales pesados forman compuestos con hidróxido, óxidos, sulfuros, sulfatos, fosfato, silicatos; siendo los más abundantes de la corteza terrestre. De acuerdo a su concentración en la especie viva, pueden ocasionar serios problemas a la salud humana y otros mamíferos (Masindi & Muedi, 2018).

Las actividades industriales, agrícolas, la generación de aguas residuales, proceso minero y metalúrgico y las escorrentías son las principales formas antropogénicas en la que se generan metales pesados al ambiente afectando a los principales recursos naturales y al hombre (Masindi & Muedi, 2018). Entre las cuales se hace énfasis a la actividad minera que expone al analito arsénico al medio ambiente y otros metales tóxicos que pueden afectar la biota animal y vegetal hasta el hombre, además de las reservas de aguas superficiales y subterráneas (Agudo, 2015).

La acumulación de metales en suelos agrícolas no solo causa la contaminación del mismo, si no también consecuencias en la calidad y seguridad alimentaria. Ya que estos se incorporan a la cadena alimentaria tras ser absorbida por la planta, siendo esta una de las principales vías de acceso de metales pesados. El consumo de estos productos alimenticios contaminados se acumulan en el hígado y riñón de los seres humanos provocando alteraciones en metabolismo de estos órganos; además de verse afectado los sistemas: cardiovascular, nervioso y trastornos óseos causando

disminución de defensas inmunológicas, desnutrición y altas posibilidad de contraer cáncer (García, Lima, Ruiz, Santana, & Calderón, 2016).

### **2.2.2 Arsénico**

Los compuestos de arsénico son elementos clasificados como uno de los más tóxicos, altamente perjudiciales para la salud de las diferentes formas de vida, ha sido por esto que se lo ha conocido a través del tiempo como un veneno el cual ha sido muy conocido en la historia. La palabra arsénico descende de raíz griega arsenikon, la cual significa potente, viril, “que supera al varón” referente a su poder toxico, el arsénico tuvo sus primeras apariciones en la edad de bronce cuando se descubrió que al mezclarlo con otro metal este compuesto hacía que su dureza aumente, su fin llo cuando fue remplazado por el estaño en el año 2500 a. de C. aunque este compuesto daba una dureza inferior a los metales en comparación con los compuestos de arsénico igual se realizó el cambio, esto se debe haber dado por la gran cantidad de gases tóxicos que emanaba el arsénico en el proceso de fundición (Muñoz, 2012).

A principios del siglo XX, el arsénico fue mal utilizado con fines criminales, el compuesto utilizado era el óxido de arsénico (III) que también te lo conoce como (arsénico blanco), dada la facilidad de adquirirlo y la dificultad que conllevaba el diagnosticarlo, ya que se necesitaba descubrir cantidades muy pequeñas en el cadáver (Muñoz, 2012).

El Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE.UU define al arsénico como un elemento ampliamente distribuido en la corteza terrestre clasificado químicamente como un metaloide, aunque frecuentemente se refiere a este como un metal. Este material solido de color gris acero se encuentra en el ambiente combinado con otros elementos (Agencia para Sustancias Toxicas y el Registro de Enfermedades, 2007).

El arsénico se encuentra presente en la naturaleza de manera libre combinado con una gran cantidad de minerales. En la corteza terrestre se encuentran grandes cantidades de As cuyos promedios varían entre 1.5 y 2 mg/kg aunque su distribución es heterogénea. El As se encuentra presente en los distintos recursos naturales (agua, aire, suelo y sedimentos). Las fuentes naturales por las cuales el arsénico se encuentra presente en el ambiente son las actividades volcánicas, erosión de rocas ricas en As, carbón por causas naturales y materiales fósiles (Lobos M., 2003).

Las fuentes antropogénicas que principalmente son las causantes de la exposición de arsénico en el ambiente son: la minería, agricultura, siderurgia, silvicultura, desechos urbanos, plantas de tratamiento de combustibles fósiles y la ganadería. La formulación de varios plaguicidas, fungicidas y biosidas utilizados en la agricultura con el fin de disminuir enfermedades en cultivos contienen arsénico, así como también los fertilizantes suelen contener arsénico, de esta manera aportando este compuesto tóxico al suelo. (Wenzel, 2002)

### **2.2.2.1 Arsénico en el Agua**

El arsénico se encuentra de forma natural en algunas aguas alrededor del mundo, especialmente las de origen volcánica que son consumidas por algunas poblaciones siendo poseedora de altas concentraciones de arsénico inorgánico, en las aguas naturales el As se puede encontrar como arsenitos y arseniatos, esto va a depender de condiciones Redox, pH y de la actividad biológica (Sharma & Sohn, 2009).

Las concentraciones de arsénico serán variadas dependiendo de los siguientes factores: la fuente, propiedades geoquímicas y los niveles presentes en el suelo, este metaloide lo encontramos en mayores concentraciones en aguas subterráneas naturales como resultado de las interacciones agua – suelo. Los acuíferos son los que

más acumulan y movilizan arsénico esto se debe a las condiciones favorables físicas y geoquímicas. (Smedley & Kinniburgh, 2002).

Las aguas subterráneas tienen valores de pH que varían entre (6,5 – 8,5) lo que facilita la movilización y retención de arsénico en la interacción de las fases sólidas y líquidas. En las aguas superficiales las concentraciones de arsénico se encuentran entre 0.1 – 0.8 mg/L aunque puede alcanzar los 2 mg/L dependiendo de factores como: Drenaje de zonas mineralizadas, litología de la cuenca, vertidos urbanos e industriales y actividad minera o clima (García S. , 2013).

#### **2.2.2.2 Arsénico en el Suelo**

En los ecosistemas terrestres el suelo es fundamental, existen concentraciones naturales de arsénico típicas en este, de 0.1 a 40 partes por millón (ppm), con concentraciones promedio de 5 a 6 ppm. El arsénico se distribuye de manera siguiente: 60% de arsénico está presente como arseniato y el 20 % restante como compuestos de azufre. En suelos vírgenes donde no ha sido alterado por ninguna fuente antropogénica varían entre 1 y 40 mg/Kg por el contrario en sedimentos los niveles de As natural lo encontramos en concentraciones menores a 10 mg/Kg.

Sin embargo las acciones antropogénicas o actividades del hombre como el uso de pesticidas y fertilizantes, inclusive características geológicas y el clima de estas zonas pueden aumentar las concentraciones de arsénico en el suelo hasta  $2.5 \times 10^5$  mg/Kg (Mahimairaja, Bolan, Adriano, & Robinson, 2005). Existen especies de arsénico que predominan en el suelo y sedimentos, estos son: Arsenito As (III) y Arseniato As (V) los cuales van a depender del pH y condiciones redox para su oxidación (Zhao, Ma, Meharg, & Mcgrath, 2009). En suelos ácidos predominan los arseniatos de hierro y aluminio, estos son menos solubles que los arseniatos de calcio que por el contrario se encuentran en suelos alcalinos o básicos (Mandal, Ogra, & Suzuki, 2001).

### 2.2.2.3 Arsénico en las Plantas

La acumulación de arsénico en las plantas se ve afectada por varios factores, que pueden ser: el tipo de planta, tipo de compuestos utilizados, métodos de aplicación, condiciones de suelo, aplicación de fertilizantes. Aunque se torna raro que la acumulación de As en las plantas sea perjudicial para los seres vivos ya que el crecimiento se reduce antes de que el contenido alcance niveles tóxicos (Carbonell, 1995).

Se debe tomar en cuenta la disociación de las especies de arsénico ya que se encuentran influenciadas por el pH, estos procesos definen las cargas que caracterizan las moléculas que están influenciadas en el transporte, a través de la membrana biológica celular de las plantas. El arsénico tiene una constante de disociación baja, siendo pKa1 y pKa2 2.2 y 6.97 respectivamente. Bajo el rango normal del pH que se encuentra en Las células de las plantas y en el suelo las cuales son 5 y 8, el arseniato se disocia y predomina como  $(\text{H}_2\text{AsO}_4)^{2-}$  y  $(\text{HAsO}_4)^{-}$ . Por lo contrario del arsenito que en su mayoría no se disocia y presenta moléculas neutras de ácido arsenioso debido a su alto pKa1 de 9.2 tanto las formas neutras y disociadas de DMA con pKa1 de 6.1 y MMA con pKa1 de 4.2 están presentes por estar disociada la forma MMA será mayor su disponibilidad (Carbonell, 1995).

El tipo de suelo es una de las variables más importantes que se relaciona la presencia de arsénico en la planta así como también esto dependerá de que especie sea la planta, ya que se acumulan con más facilidad en vegetales, aunque por lo general la especie de arsénico inorgánico se lo encuentra en su mayoría en plantas terrestres (Francesconi & Kuehnelt, 2001). El uso de aguas de riego y de suelo con altos contenidos de arsénico puede generar la concentración de este metal en las plantas y productos agrícolas. Por lo general los vegetales y plantas que crecen en

suelos libres de arsénico presentan valores promedio de este metal de 0.02 mg/Kg (Schoof, 1999).

#### **2.2.2.4 Fitotoxicidad**

La fitotoxicidad del arsénico se lo determina según cual sea su forma química presente en el suelo donde el arsenito es el que presenta más fitotoxicidad que el arseniato. (Carbonell, 1995). Aunque de igual manera las especies inorgánicas de arsénico se pueden convertir en especies orgánicas gracias a la actividad microbiana que se encuentra en el suelo, la que produce que pase de arsenito y arseniato a otros compuestos como ácido monometilarsónico y dimetilarsínico, estas dos se presentan menos tóxicas debido a la facilidad que tienen de volatilizarse y de esta manera no acumularse en plantas (Abedin, Feldmann, & Meharg, 2002).

El arseniato y arsenito presentan toxicidad para el metabolismo celular. El arseniato es un compuesto químico de fosfato, es por esto que puede sustituir al fosfato en muchas reacciones bioquímicas. El arseniato puede formar ADP- arseniato reaccionando con adenosina di fosfato (ADP), esta molécula se hidroliza fácilmente por ser inestable. (Hughes, 2002) El arsenito se diferencia del arseniato debido a que este reacciona fácilmente con compuestos que contienen tiol, como es el ácido lipoicoditiol. El ácido lipoico es formadora de muchas enzimas oxidantes de las plantas (Chen, Chi, Taylor, Lambers, & Finnegan, 2010).

El pH es otra variable importante que produce que la solubilidad del arsénico en el suelo se vea afectada, en donde en suelos ácidos (pH menores a 5) incrementa su movilidad, aunque varios estudios han determinado que el As es acumulado con facilidad por las plantas con un pH alcalino. Por otro lado la materia orgánica es otra variable importante que interviene en la solubilidad del Arsénico en la planta ya que al ser mayor incrementa la disponibilidad del metal (Fu, y otros, 2011).

La reducción de algunos óxidos de hierro produce que la disponibilidad del arsénico se presente mayor, el fosforo por el contrario desplaza y libera al As en el suelo dejándolo libre. El fertilizante con más influencia en la toxicidad del arsénico es el fosforo, el cual es capaz de desplazar al arsénico, disminuyendo la toxicidad para varios cultivos(Woolson, 1973).

#### **2.2.2.5 Formas Químicas de Arsénico**

Los compuestos de arsénicos pueden darse de forma orgánica e inorgánica. Se conoce que los compuestos inorgánicos son los más peligrosos y tóxicos, el cual a su vez puede ser trivalente y pentavalente, estos suelen presentarse como aniones o en disolución (arsenito o ácido arsenioso As (III) forma trivalente y arseniato o ácido arsénico As (V) forma pentavalente), estas son especies estables termodinámicamente bajo condiciones oxidantes y reductoras. Sin embargo la presencia de una de las formas no implica que no se encuentre presente la otra (Carbonell, 1995).

En la naturaleza predominan las especies inorgánicas de arsénico que son las que originan las diferentes formas orgánicas a partir de procesos de biotransformación. La forma química que predominara en un ecosistema determinado va a depender de las condiciones de acidez y condiciones redox(Smedley & Kinniburgh, 2002).

En el medio ambiente existen una serie de mecanismos por los que el As se transforma, por lo general son originados por procesos de oxidación-reducción y reacciones de biometilación o síntesis de compuestos orgánicos de As que son más complejos, los cuales muchas veces se los asocia a mecanismos de acumulación o excreción. A través de procesos de degradación las especies orgánicas de arsénico se descomponen y vuelven a su forma inorgánica(García S. , 2013).

En los ambientes aeróbicos, la forma pentavalente As (V) o arseniatos es la especie más estable que se encuentra absorbida por óxidos e hidróxidos de hierro, manganeso, arcilla y materia orgánica. En suelos ricos en hierro se precipitan y los encontramos como arseniato de hierro. La forma As (III) o arsenitos predominan en condiciones reductoras (Mandal & Suzuki, Arsenic round the world: a review, 2002).

Los compuestos de arsénico que se encuentran presentes en el suelo dependen de la concentración y tipo de componentes adsorbentes, de tal forma que los arseniatos de hierro y aluminio son los que se encuentran en mayor concentración en suelos ácidos, los cuales son menos solubles que los arseniatos de calcio, que por el contrario se encuentran en su mayoría en suelos alcalinos y calcáreos (Mandal & Suzuki, Arsenic round the world: a review, 2002).

La presencia de arsénico orgánico se da por causa de procesos de biometilación de especies orgánicas que realizan los microorganismos presentes en el suelo, constituyendo así un mecanismo por el cual el arsénico se moviliza. De igual manera la presencia de esta especie puede darse por el uso de pesticidas y herbicidas o también puede darse por el mal almacenamiento y manejo de compuestos de arsénico empleados en la minería o con fines militares (García S. , 2013).

**Tabla 1.** Nomenclatura de compuestos orgánicos e inorgánicos del arsénico en diferentes medios ambientales

<b>Formas comunes de Arsénico</b>			
<b>Medio</b>		<b>Nombre</b>	<b>Fórmula</b>
		Ácido dimetilarsónico, ácido cacodílico (MMA)	$(\text{CH}_3)_2\text{AsO}(\text{OH})$
	Formas Orgánicas	Ácido monometilarsónico (DMA)	$\text{CH}_3\text{AsO}(\text{OH})_2$

<b>Suelo</b>		Ácido monometilarsónico disódico (DSMA)	$\text{CH}_3\text{Na}_2\text{AsO}(\text{OH})_2$
	Formas Inorgánicas	Ácido ortoarsénico, ácido arsénico	$\text{H}_3\text{AsO}_4$
		Ácido ortoarsenioso, ácido arsenioso	$\text{H}_3\text{AsO}_3$
		Sulfuro de arsénico (III), trisulfuro de arsénico.	$\text{As}_2\text{S}_3$
<b>Agua</b>	Formas inorgánicas	Ácido ortoarsénico, ácido arsénico	$\text{H}_3\text{AsO}_4$
		Ácido ortoarsenioso, ácido arsenioso	$\text{H}_3\text{AsO}_3$
<b>Animal, Vegetal, Productos agrícolas o Gas</b>	Formas orgánicas	Ion tetrametilarsonio (TMA <sup>+</sup> )	$(\text{CH}_3)_4\text{As}^+$
		Oxido de trimetilarsina (TMAO)	$(\text{CH}_3)_3\text{AsO}$
		Trimetilarsina	$(\text{CH}_3)_3\text{As}$
		Metilarsina	$\text{CH}_3\text{AsH}_2$
		Dimetilarsina	$(\text{CH}_3)_2\text{AsH}$
		Arsenocolina (AC)	$(\text{CH}_3)_3\text{As}^+$ $\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$
		Arsenobetaína (AB)	$(\text{CH}_3)_3\text{As}^+ \text{CH}_2\text{COO}^-$
		Roxarsone	$\text{C}_6\text{AsNH}_6\text{O}_6$

**Fuentes:** (Carbonell, 1995) (WHO, 1989) (Litter, Armienta, & Farías, 2009)

**Elaborado por:** (Vásquez, 2020)

### 2.2.2.6 Arsénico en alimentos

La mayoría de alimentos que se producen en el sector agrícola han registrado nivel bajos de arsénico inorgánico y total en productos que se obtienen de la tierra, en comparación a las concentraciones de alimentos de origen marino quienes presentan elevados niveles de arsénico inorgánico y total con 2 mg - 60 mg de arsénico/ Kg de masa seca (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO, 2011).

Un análisis de arsénico realizo entre dos parroquia de la provincia de Tungurahua (Pilco y Atillo): Siendo en la parroquia Pilco del cantón Quero donde compararon la concentración entre tres alimentos (papa, zanahoria y leche cruda), registrándose

concentraciones de 0.04226 mg/kg en la papa, 0.01510 mg/kg en zanahoria y en leche cruda 0.378 mg/kg; Mientras que en la parroquia Atillo del cantón Mocha los valores de Arsenio entre estos mismos alimentos obtuvieron los siguientes valores: papa 0.02477 mg/kg, en zanahoria 0.01134 mg/kg y en la leche cruda de 0.0321. Al comparar los resultados obtenidos con los valores de referencia establecidos por el NTE – INEN 269 cuyo límite máximo permisible es de 0.1 mg/kg, los alimentos analizados están por debajo de la norma lo que garantiza el consumo de estos productos por la población (Polo M. P., 2010).

### **2.2.2.7 Propiedades Físico Químicas del Arsénico**

El arsénico es un elemento ampliamente distribuido en la corteza terrestre, por su posición en la tabla periódica ha sido clasificado químicamente como un metaloide, sin embargo se refiere con frecuencia a este como un metal, este tiene un comportamiento similar al del fósforo que implica la toxicidad a nivel de suelo y en las plantas. Por su electronegatividad y energía de ionización prevalecen características de no metal, la cual hace que forme con mayor facilidad aniones que cationes. Es perteneciente al grupo V-A de la tabla periódica con un número atómico 33 y peso atómico 74.92 (Moreno, 2010). El arsénico tiene varios estados de oxidación, los más comunes son +3 y +5. El arsénico se puede unir covalentemente con la mayoría de metales y no metales y de esta manera forma moléculas orgánicas estables (ATSDR, 2007).

### **2.2.2.8 Toxicidad**

Se categorizó al arsénico como un elemento altamente tóxico y cancerígeno, es por esto que se considera un riesgo para la salud humana (US EPA, 2000).

La toxicidad del arsénico depende de la especiación del arsénico, estado de oxidación, estructura química y la solubilidad en el medio biológico, donde su forma

inorgánica, ha recibido mayor atención que su forma orgánica debido a su gran toxicidad por su rapidez de adsorción y alta solubilidad en el medio biológico. En relación a esto las formas trivalentes As (III) es 50 veces más venenosa y toxica que las pentavalentes As (V), esto se debe a que es más móvil y tiene más afinidad por los grupos funcionales en el sistema enzimático (Klevay, 1976) (Jonnalagadda & Rao, 1993) (Hughes, 2002).

La escala de toxicidad del arsénico de acuerdo al criterio de (García S. , 2013):

Arsina (H3As) > As+3 inorgánico (arsenito) > As+ 3 orgánico > As+5 inorgánico (arseniato) > As+5Organico > compuestos arsenicales y arsénico elemental
--

El arsénico trivalente As (III) tiene la capacidad de unirse a los grupos sulfidrilos (-SH) y obstaculizar funciones enzimáticas que son esenciales provocando de esta manera efectos negativos para la salud humana, por otro lado el arsénico pentavalente As (V) puede sustituir al fosfato privando a la célula de energía. El arsénico al acumularse en el organismo afecta a casi todos los tejidos, órganos y sistemas en los seres humanos, el efecto toxico que causa se lo conoce como arsenicosis que depende de la cantidad ingerida de este metaloide, sin embargo se conoce también que el arsénico ha tenido reacciones positivas en el uso de ciertos tratamientos de cáncer (García S. , 2013).

La arsenicosis o también llamada hidroarsenicismo crónico es una enfermedad que sufren las personas que están expuestas a elevadas concentraciones de Arsénico inorgánico y presentan problemas en la salud como, problemas respiratorios, enfermedades gastrointestinales, cardiovasculares y efectos cancerígenos en órganos como pulmón, vejiga y piel (Reyes Y. , Vergara, Torres, Díaz, & González, 2016).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) y la EPA han establecido un límite máximo permisible para consumo de agua en los seres humano el cual es 10 ppb,

aunque en países como India o Bangladesh se permiten valores máximos de hasta 50 ppb (Mudhoo, Sharma, Garg, & Tseng, 2011). Aunque en la mayoría de países no se ha establecido un nivel máximo permisible para alimentos. Es así que la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la OMS recomienda no superar el consumo diario de 0.15 mg de As inorgánico para un adulto con peso promedio de 70 Kg (WHO, 1989).

### 2.2.3 El cultivo del café

#### 2.2.3.1 Origen

El café es un arbusto cuyo punto de origen se dio en las montañas sur occidentales de Etiopia, el altiplano del Sudan y el Norte de Kenia los cuales comprenden de sotobosque natural, ubicado a una altitud de 1300 a 2000 msnm (Charrier, 1982). La leyenda cuenta que el café fue descubierto por un pastor que criaba cabras, el cual observo que cuando estas consumían la planta se ponían nerviosas e intranquilas. Otra de las historias más populares es que el café era utilizado por monjes que lo tomaban para no conciliar el sueño y poder orar por horas prolongadas. Fuese cual fuese la historia hoy se conocen alrededor de 30 especies de café (Charrier, 1982).

En el Ecuador el café fue introducido en el año de 1830 específicamente en la provincia de Manabí en el cantón Jipijapa, en los recintos Las Maravillas y El Mamey (Tabla 2). En la actualidad el café arábigo es cultivado en las siguientes zonas montañosas

**Tabla 2.** Zonas cafeteras en la Provincia de Manabí

Provincia	Zonas de Cultivo
Manabí	Parte alta de Olon, Pedro Pablo Gómez, Pajan, Jipijapa, 24 de Mayo, Santa Ana, Pichincha, Junín, Chone, Sucre, Jama y Pedernales.

**Fuente:** (INIAP, 2004) / **Elaborado por:** (Vásquez, 2020)

En Ecuador existe una superficie cultivada de alrededor de 231 919 Ha de café de las cuales se dividen respectivamente en 151 958 Ha (66%) de café arábigo y 79 969 Ha (34%) de café robusta. (Bettancourt, 2002)

Actualmente el café arábigo es cultivado y producido en las estribaciones occidentales y orientales de la cordillera de Los Andes, donde se destacan las siguientes zonas según cada Provincia del Ecuador. (Tabla 3).

**Tabla 3.** Provincias cafeteras del Ecuador

<b>Provincia</b>	<b>Zonas de Cultivo</b>
Pichincha	Puerto Quito, Gualea, Pacto, Mindo y Tandapi.
Chimborazo	Pallatanga
Cotopaxi	Moraspungo
Bolívar	Caluma, Echandia y Balsapamba
El Oro	Piñas, Zaruma, Balsas, Marcabeli y Las Lajas
Loja	Alamor, Celica, Chaguarpamba, Olmedo, Paltas y Vilcabamba.
Zamora Chinchipe	Zumba, Chito, Yantzatzta, El Pangui y Centinela del Cóndor.
Morona Santiago	Gualaquiza
Napo	Archidona.

**Fuente:** (INIAP, 2004) / **Elaborado por:** (Vásquez, 2020)

### 2.2.3.2 Clasificación Taxonómica

El café es perteneciente al género *Coffea* con alrededor de 100 especies existentes. Aunque de estas dos son las más cultivadas con importancia comerciales son: *Coffea arábica* L, C. (Café Arábigo) y *C. canephora* Pierres (café robusta), que ocupan el 65% y 33% del área cultivada mundial.

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Sub-División: Angiospermae

Clase: Magnoliata

Sub-Clase: Asteridae

Orden: Rubiales

Familia: Rubiaceae

Género: *Coffea*

Especie(s): *arábica, canephora*

Nombre científico: *Coffea arábica* (Linneo, 1753)

*Coffea canephora* (Linneo, 1753)

(Del Cafe Insumos, 2007)

### 2.2.3.3 Café Arábigo (*Coffea arábica*)

El café arábica es un café de altura que proviene de las tierras altas de Etiopía, posiblemente también sea nativo de otras partes de África y Arabia en Asia. Este café se describe como un arbusto que alcanza alturas de 6 hasta 8 metros cuando crece libremente sin ningún tipo de intervención humana, cuando se encuentra en plantaciones es podado constantemente para facilitar su recolección en cosecha, alcanzando alturas más bajas de entre 2 a 2.50 metros. Poseen hojas relativamente pequeñas con un tamaño que varía de 12 – 15 cm de largo y 6 cm de ancho, con una forma oval o elíptica, cortas y algunas veces un poco onduladas. Sus flores son de color blanco cremoso que varían en cada axila de las hojas. Sus frutos son ovales y maduran en un tiempo de 7 a 9 meses, estos por lo regular contienen dos semillas (Figuerola, Pérez, & Godínez , 2015)

#### **2.2.3.4 Café Robusta (*Coffea canephora*)**

El café Robusta es nativa de los bosques ecuatoriales de África, se extienden desde la costa oeste hasta Uganda y parte de la zona sur de Sudán, de igual manera en la parte occidental de África. Esta especie se cultiva en elevaciones desde el nivel del mar hasta aproximadamente 1000 msnm (Comisión Veracruzana de Comercialización Agropecuaria, 2010).

Este tipo de café Robusta es un arbusto o pequeño árbol Robusto que alcanza hasta los 10 m de altura, con raíces poco profundas. El fruto es de forma redonda y tarda en madurar aproximadamente 11 meses después de su floración, la semilla es de forma alargada y de tamaño inferior que las del Arábica, estas pueden cultivarse hasta alturas de 700 msnm con una temperatura ambiental que oscile entre los 24-30 °C. Estas son plantas más resistentes a plagas y enfermedades y soportan condiciones climatológicas adversas (Figueroa, Pérez, & Godínez , 2015).

#### **2.2.3.5 Diferencias entre el café Arábica y Robusta**

Los granos tostados de las dos especies son muy parecidos a simple vista pero entre las dos especies existen grandes diferencias. La genética del Arábica posee 44 cromosomas, al contrario de la Robusta que cuenta con 22, cuando crece libremente alcanza altitudes de 6-8 metros mientras que la Robusta tiende a alcanzar mayores alturas, de 8-10 metros. Esta última especie mencionada tiende a ser más resistente a plagas y enfermedades mientras que la Arábica es más sensible (Figueroa, Pérez, & Godínez , 2015).

La especie Arábica es altamente sensible a la enfermedad de la Roya (*Hemileia vastatrix*), está especialmente aparece cuando los cultivos se siembran en terrenos de altitudes bajas. Esta es una de las principales razones por las cuales las plantaciones

de Arábica son generalmente en terrenos de 900 a 1800 msnm. Aunque una de las diferencias más notorias entre las dos especies está en el grano, el Arábico tiene una forma más aplanada y alargadas, cuenta con un color más intenso. Además cuenta con un surco central ondulado (Figuroa, Pérez, & Godínez , 2015).

Por el contrario el grano de Robusta tiene forma más convexa y abombada con un surco central rectilíneo, y de color verde pálido. Químicamente el grano de Arábico contiene 1.1 – 1.7% de cafeína, mientras que el café Robusta cuenta con un contenido de cafeína más elevado de 2 – 4.5%. En cuestiones de aroma también se puede diferenciar ya que el Arábico es más aromático, dulce, menos amargo y astringente que la Robusta que presenta una bebida fuerte y amarga. El café Arábico es considerado de mejor calidad que el Robusta, es por esto que es el que mayor se cultiva y comercializa en el mundo (Figuroa, Pérez, & Godínez , 2015).

#### **2.2.3.6 Características óptimas para el desarrollo de un cafetal**

El café arábigo es una especie cultivada en tierras altas con un periodo de floración altamente susceptible a la temporada lluviosa. De igual manera las plantas continúan su desarrollo durante la época seca, esta planta entra en floración conjunto con el inicio de la temporada de lluvia, aproximadamente una semana después. La recolección de las cerezas o el periodo de cosecha del café se da una vez al año (Ramirez, 2010).

El café requiere lugares que cuenten con precipitaciones que varíen entre los 750 mm anuales hasta 3000 mm, la mejor producción de café se da en lugares con altitudes de 1200 a 1700 msnm, donde las precipitaciones anuales varían entre 1000 a 3000 mm y la temperatura media anual es de 15º a 24º. Lo más importante radica en la distribución de la precipitación en función del ciclo de la planta, ya que el cultivo requiere una lluvia (o riego) abundante que se encuentre bien distribuido desde el

comienzo de floración hasta finales de la época seca, esto para fortalecer el desarrollo de los frutos y de la madera de la planta (Ramirez, 2010).

El suelo propicio para una buena calidad de café debe ser bien drenado, que no sea demasiado ligero ni demasiado pesado. Una textura limosa con estructura granular es indicado para este cultivo. El pH debe variar entre los 5.5 y 6.5, lo que quiere decir que es más beneficioso un suelo más ácido que básico (Ramirez, 2010). En cuanto a la materia orgánica debe encontrarse en un 2-5%, el nitrógeno debe encontrarse superior a 3% para un buen desarrollo de la planta. Hablando de macronutrientes las condiciones óptimas para este cultivo son: en cuanto al potasio de 0.2-0.7 (mEq/100gr) y 6-14 (ppm) en cuanto a fósforo. El viento debe estar en un umbral donde no produzca daños físicos ni fisiológicos al cafetal, de 20 a 30 km/h (Venegas, Orellana, & Pérez, 2018).

### **2.2.3.7 Procesamiento del café**

El procesamiento de cosecha del café se realiza cuando el fruto (cereza) esté totalmente maduro, el mismo que consta de las siguientes fases según (Figueroa, Pérez, & Godínez, 2015) y (Viñan, 2019).

1. **Despulpado.**- el cual consiste mediante una despulpadora que usa agua como principal factor quitar la cereza del grano, con lo cual clasifica los granos por peso y tamaño.
2. **Fermentación.**- se lo realiza introduciendo el café previamente despulpado en tanques de agua durante 18 – 24 horas, el propósito final de la fermentación es que el mucilago o también llamada capa viscosa se descomponga
3. **Lavado.**- el cual utilizando los mismos tanques, elimina el mucilago. Esta remoción del mucilago tiene como fin descomponer este disolviéndolo en el

agua, eliminándolo por medio del método de lavado. su duración depende del clima y un tiempo que oscila entre 18-30 horas.

4. **Secado.**- el mismo que se realiza de forma natural con ayuda del sol, aunque en algunas fincas usan hornos que trabajan con energía, madera o carbón para realizar este secado. Teniendo en cuenta que el grano de café debe tener un porcentaje de humedad de 12%.
5. **Separación.**- Luego del secado se coloca el café en un porrón (recipiente de madera con cavidad) al cual se le dan golpes para separar la cascara del grano, luego para mejorar la separación se utiliza un abanico para ventilar y retirar los últimos residuos de cascara.
6. **Tueste.**- Consiste en someter los granos a una fuente de calor, de esta manera provoca que cambie de color a un café más oscuro, el grano de café se agrieta adquiriendo así su peculiaridad de café tostado.
7. **Molienda.**- previa al enfriamiento se realiza el proceso de molienda con un molino artesanal generalmente de acero inoxidable el cual debe ser regulado con anticipación para obtener la textura deseada del café molido.

### 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” (CONSTITUCION DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR, 2008, pág. 13).

Por otra parte, el artículo 281, en el inciso 13 sobre la soberanía alimentaria, se recalca que: “se deberá prevenir y proteger a la población sobre el consumo de alimentos contaminados los cuales ponen en riesgo la salud o que la ciencia tenga

incertidumbre sobre sus efectos” (CONSTITUCION DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR, 2008, pág. 139)

El plan Nacional de Desarrollo establece en el objetivo 6: Desarrollar las capacidades productivas y del entorno para lograr la soberanía alimentaria y el Buen Vivir Rural, en su política 6.3 “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, 2017, pág. 87).

El acuerdo 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 antropogénicas (Acuerdo Ministerial 097-A, 2015). Dentro de esta normativa ambiental se establece criterios de calidad del suelo en parámetros inorgánicos y orgánicos (Acuerdo Ministerial 097-A, 2015, pág. 35).

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, pág. 3).

La Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria tiene como finalidad mecanismos mediante los cuales el Estado Ecuatoriano cumpla con su obligación y objetivo estratégico de garantizar a las personas, comunidades y pueblos la autosuficiencia de alimentos sanos, nutritivos y culturalmente apropiados de forma permanente 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, pág. 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, pág. 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, pág. 8).

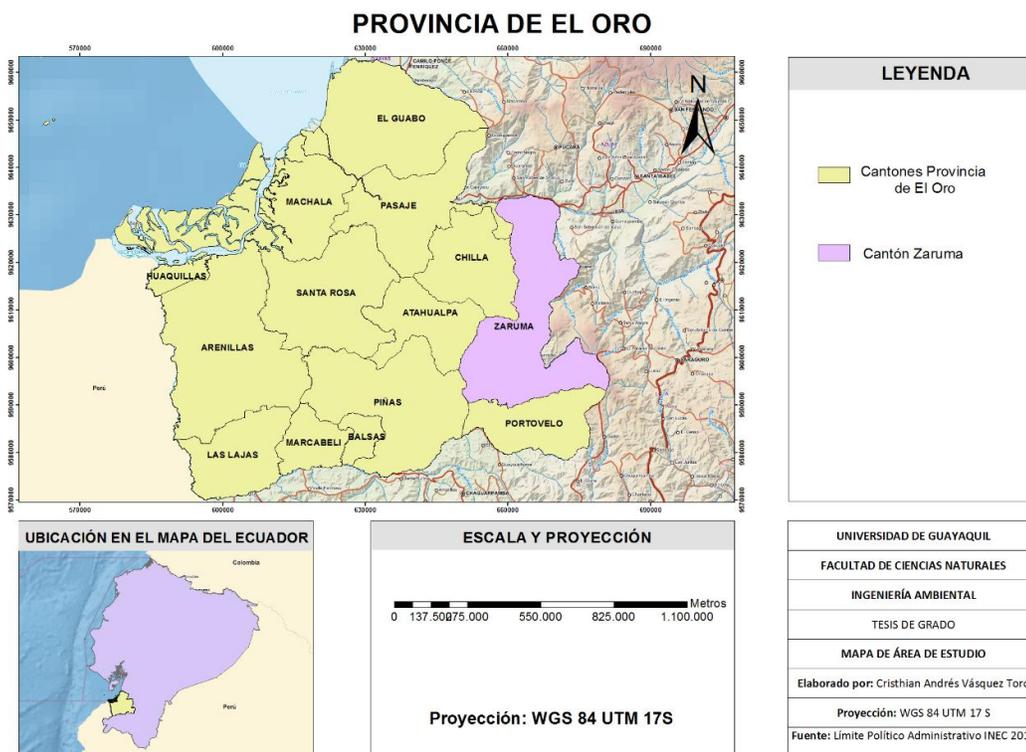
La normativa de Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN 1122:2013 establece los requisitos que debe cumplir el café soluble o instantáneo. En esta norma regulan la concentración máxima permitida de contaminantes en el producto (NTE INEN 1122, 2013).

# CAPITULO III

## 3.1 Materiales y métodos

### 3.1.1 Área de Estudio

La provincia de El Oro se ubica entre las coordenadas (-3,25861 S Latitud Y - 79,9605331 O Longitud) en el extremo sur occidental del Ecuador, la misma que cubre una superficie total de 5.791.85 kilómetros cuadrados, el cual representa el 2.15% de la superficie nacional (SNI, 2015). Esta provincia está conformado por 14 cantones: Machala, Arenillas, Atahualpa, Balsas, Chilla, El Guabo, Huequillas, Las Lajas, Marcabelli, Pasaje, Piñas, Portovelo, Santa Rosa y Zaruma. (Figura 1)



**Figura 1.** Delimitación de la Provincia de el Oro y Cantón Zaruma  
**Fuente:** (Vásquez, 2020)

Parte del territorio de la provincia se localiza en las faldas de las estribaciones de la cordillera occidental de los Andes y la otra parte mayoritaria se divide en región costa y región insular. La provincia de El Oro cuenta con un alto potencial en producción

agrícola destacándose los cultivos de: banano, cacao, arroz, café, caña de azúcar, maíz, cítricos, frutales y hortalizas (SNI, 2015).

Se seleccionó al cantón Zaruma para el desarrollo de esta investigación, la misma que se ubica geográficamente entre -3,6913200 latitud y -79.6117400 longitud, este cantón se caracteriza por ser zona montañosa a 1200 msnm que forma parte de la cordillera de Vizcaya, la cual es un ramal de la cordillera de los Andes; Zaruma tiene una extensión territorial que cubre una superficie de 643.50 kilómetros cuadrados, que corresponde al 10% de la superficie total de la provincia de El Oro.

Sus limitantes son al norte lindera con la Provincia del Azuay, al sur con el cantón Portovelo, al este con la provincia de Loja y al oeste con los cantones, Piñas, Atahualpa, Chilla y Pasaje. Cuenta con una parroquia urbana, la cabecera cantonal con el mismo nombre Zaruma y con 9 parroquias rurales las cuales son: Abañin, Arcapamba, Guanazán, Guizhaguiña, Huertas, Malvas, Muluncay, Sinsao y Salvias (GAD DE ZARUMA, AME, & SENPLADES, 2018).

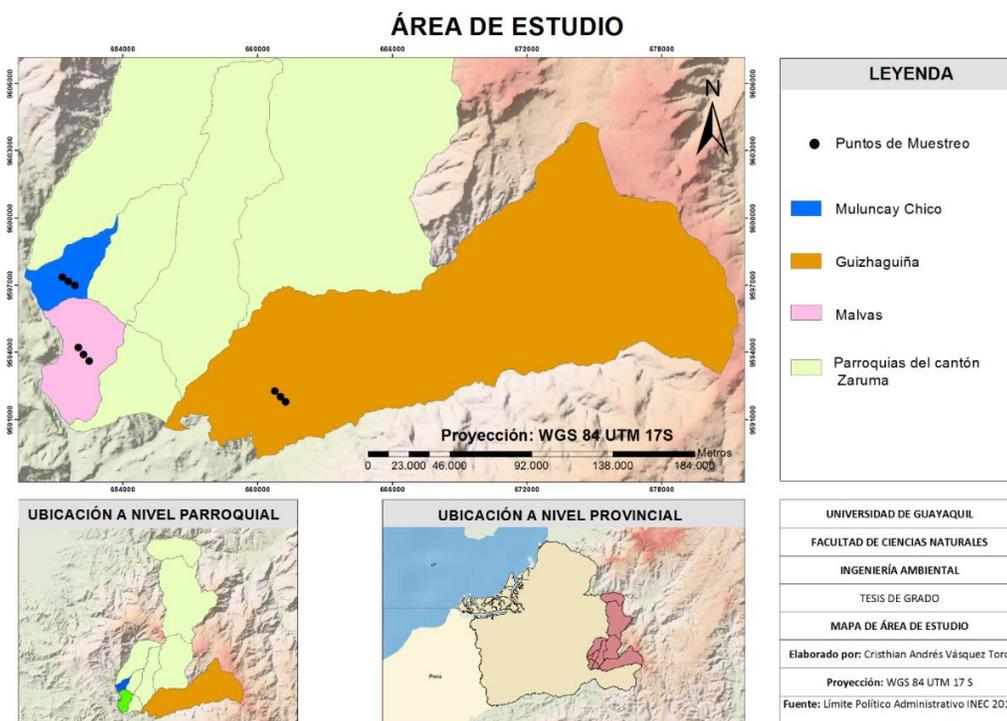
Se establecieron tres parroquias del cantón Zaruma los cuales son lugares donde se cultiva café arábigo (*Coffea arábica*); siendo este el inicio de la producción de café que seguirá con el comercio del mismo a nivel cantonal, nacional y en algunos casos internacional, ya que es reconocido a nivel mundial por su alta calidad. Por lo cual fueron codificadas y georreferenciadas (Tabla 4);(Figura 2).

**Tabla 4.** Codificación y Georreferenciación de las parroquias del cantón Zaruma objeto de estudio

Parroquia	Código	Coordenadas geográficas UTM WGS 84	
		Latitud	Longitud
Muluncay	CA	-3.636460	-79.636055

Guizhaguiña	CB	-3.692821	-79.551444
Malvas	CC	-3.660207	-79.627062

Fuente: (Vásquez, 2020)



**Figura 2.** Ubicación geográfica de los sitios de muestreo en el cantón Zaruma.  
Fuente: (Vásquez, 2020)

La parroquia Muluncay es una parroquia rural del cantón Zaruma ubicada al oeste de la ciudad de Zaruma, esta cuenta con una extensión aproximada de 18 kilómetros cuadrados, con una población de 970 habitantes. Su elevación va desde los 1200 m.s.n.m. Posee un clima templado con temperaturas que oscilan entre 25 y 28 °C (MULUNCAY, 2018).

Guizhaguiña es una parroquia rural del cantón Zaruma que se encuentra ubicada en las estribaciones de la cordillera de los andes en las faldas del cerro chinchilla, al sur oeste del Ecuador en el sector oriental del cantón Zaruma. Limitando al norte con

la provincia de Loja y la parroquia salvias, al sur y este con el cantón Portovelo y al oeste con la parroquia Sinsao. Cuenta con un clima característico de bosque húmedo pre montano a una temperatura que oscila entre los 20 y 24 °C (Güizhagüiña, 2018).

La ubicación de la parroquia Malvas se encuentra en la zona occidental del cantón Zaruma, ubicada exactamente en las estribaciones de la cordillera de Vizcaya a 5 Km de la cabecera cantonal. Malvas se encuentra limitado al Norte por las Parroquias Arcapamba y Muluncay, al sur y este con Zaruma, y al oeste con el cantón de Piñas. Cuenta con una extensión de 13.8 kilómetros cuadrados aproximadamente además cuenta con 1.315 habitantes según INEC 2001. Cuenta con un clima templado que se considera una zona templada andina con una temperatura que oscila entre 18 a 22 °C. (MALVAS, 2019).

### **3.1.2 Metodología**

Se realizó un muestreo probabilístico del tipo aleatorio simple mediante la metodología de transecto en tres fincas cafeteras de las parroquias: Muluncay Chico, Guizhagüiña y Malvas del cantón Zaruma, al sur de la provincia de El Oro con un total 27 muestras entre café molido, infusión y suelo durante el mes Noviembre del 2019; Cabe indicar que el café se cosecha una vez al año, razón por la cual el sector cafetero hace una separación de cosechas por lote de terreno.

#### **3.1.2.1 Metodología de campo**

##### **3.1.2.1.1 Café**

Se obtuvieron muestras de café molido y suelo agrícola de las Parroquias Muluncay Chico, Guizhagüiña y Malvas, cuya producción y distribución de este café era principalmente para consumo interno del cantón Zaruma (Figura 3). Así mismo, se tomaron muestras por triplicado de café artesanal los mismos que fueron codificados

según su marca (CA, CB, CC) y lotes de producción por finca (Punto 1,2 y 3) ;(Figura 4).



**Figura 3.** Fincas donde se colectaron muestras de café artesanal en el cantón Zaruma, provincia de El Oro: a) Finca Don Murillo (Muluncay Chico) b) Finca la Cascada (Guizhaguiña). **Fuente:** (Vásquez, 2020)



**Figura 4.** Selección de la muestra por lote de cada finca en el cantón Zaruma, provincia de El Oro: a) Recolección de muestras por lote de cosecha b) Café molido listo. **Fuente:** (Vásquez, 2020)

Se colectó aproximadamente 1 Kg de café molido por cada punto de muestreo de los cuales se dividio en dos partes: 500 g para el café molido y los otros 500 g para realizar la infusión de café las mismas que se realizó bajo la Normativa Ecuatoriana NTE INEN 1122, para su posterior análisis del metal arsénico (As), en el Laboratorio Analítica Avanzada – Asesoría y Laboratorios ANAVANLAB Cia. Ltda. La misma que

está acreditado por el Servicio de Acreditación Ecuatoriano (SAE) bajo la Norma NTE INEM ISO /IEC 17025:2006.

### 3.1.2.1.2 Suelo

Se colectaron muestras de suelo donde se cultiva el café artesanal con sus respectivas replicas (n=3), las mismas que fueron recolectadas insitu a 10 cm de distancia de la planta, donde se limpió cada punto de la hojarasca que cubría el suelo (Figura 5) y se excavo aproximadamente de 15 a 20 cm de profundidad para recolectar cada una de las muestras usamos el método de transectos en línea recta. Se obtuvo aproximadamente 1kg de suelo en cada punto, de los cuales fueron divididos en 2 fundas Ziploc de 500 gr, una para ser enviada a análisis de laboratorio y la otra para realizar un análisis físico-químico del suelo. Siguiendo los lineamientos establecidos en la Guía para el muestreo de suelos del ministerio del Ambiente de Perú donde indica la profundidad a la que se debe tomar la muestra (0 – 30 cm) y de cómo se debe preparar el punto para la toma de muestra (Guía para el Muestreo de Suelos, 2014).



**Figura 5.** Toma de muestra de suelo de las parroquias Muluncay Chico, Guizhaguíña y Malvas en el cantón Zaruma, provincia de El Oro: a) Acondicionando el punto para excavar b) Excavando para la toma de muestra y c) Toma y empaque de muestra en funda Ziploc.  
**Fuente:** (Vásquez, 2020)

### 3.1.2.2 Metodología de Laboratorio

#### 3.1.2.2.1 Análisis físico-Químico

Los análisis Físico-Químicos fueron realizados e interpretados en la Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Naturales en el laboratorio de Química. A excepción de el pH y temperatura del suelo que fue tomada insitu.

#### 3.1.2.2.2 Análisis de textura de suelo

El análisis textural del suelo se realizó mediante el método “Feel” descrito por Lesikar, B., Hallmark, C., Melton, R., & Harris, B. (2005), de cada una de las finchas cafeteras para identificar la textura de suelo existente en los diferentes cultivos de café.

Procesamiento previo a la determinación textura del suelo

1. Tamizado del suelo por medio de un tamiz con poro de 500 u
2. Se coloca una cucharada de tierra tamizada en la palma de la mano
3. La muestra de suelo es humedecida con agua
4. Se frota la muestra húmeda con el dedo pulgar y los dedos por un tiempo aproximado de 2 minutos hasta sentir la pegajosidad, arenilla, suavidad.
5. La muestra debe formar un molde en la mano, para poder precisar el tipo de textura en cuanto tengamos la sensación en las manos. Los moldes de las diferentes texturas se comportaran de manera diferente en el momento de ser frotado en la mano.

**Lesikar et al., (2005)** determinó 7 figuras para cada textura tales como: arena franca, arena arcillosa, franco arenoso, franco limoso, Franco arcilla limosa, arcilla y arcilla limoso (Tabla 5).

**Tabla 5.** Determinación de la textura mediante el método "Feel"

Gráfico método "Feel"	Textura	Descripción
	Figura A1 Arena Franca Clase I b	El clase de suelo I b es suelto y de grano simple. Los granos de arena son visibles con facilidad y tiene una sensación arenosa. Exprimidos cuando están secos los agregados se desmoronan fácilmente
	Figura A2 Arena Arcillosa Clase I b	Fig. 1 Cuando esta húmedo es exprimido y este suelo formara un yeso. Fig. 2 El yeso se desmorona al tocarlo o al dejarlo caer
	Figura A3 Franco Arenoso Clase II	Estos suelos exprimidos cuando están secos hacen que los agregados se desmoronen. Exprimiendo cuando esta húmedos se forma un yeso que no se romperá. El suelo será blando pero no pegajoso o brillante frotado entre el pulgar y los dedos la cinta se mantiene unida y se sentirá arenosa y no pega bien, o puede que no se sienta ni arenosa ni lisa y se haga una cinta débil antes de romperse
	Figura A4 Franco Limoso Clase III	Esta clase de suelos presenta una mezcla que parece suave, lisa y no arenosa. Cuando se exprime y está relativamente húmedo formara un yeso que puede manejarse fácilmente sin romperse. Cuando la
	Figura A5	

	<p>Franco limoso arcilloso Clase III</p>	<p>muestra húmeda se amasa con la mano no se desmorona con facilidad. Fig.4 Cuando el suelo húmedo se aprieta entre el dedo pulgar y los dedos se forma una cinta que puede ser débil con una rotura con apariencia escamosa.</p> <p>Fig.5 La cinta tendrá una textura suave, pastosa y presenta ligeramente una sensación resbaladiza. Cuando está seco puede parecer aterciopelado y puede romperse en bultos duros.</p>
	<p>Figura A6 Arcilla Clase IV</p>	<p>Normalmente estos suelos forman grumos duros cuando están secos, son muy pegajosos cuando están mojados.</p> <p>Cuando el suelo húmedo se presiona entre el dedo pulgar y entre los dedos</p>
	<p>Figura A7 Limoso Arcilloso Clase IV</p>	<p>generalmente forma una cinta larga, delgada y flexible (Fig. A6 y A7). La cinta es fuerte y duradera, su superficie puede ser resbaladiza y brillante.</p>

**Fuente:** (On-Site Wastewater Treatment Systems: Soil Particle Analysis Procedure,, 2005).  
**Elaborado por:** (Vásquez, 2020)

### 3.1.2.2.3 pH y Temperatura de Suelo

El objetivo de medir el pH es conocer la alcalinidad o acidez del suelo para determinar posibles especies arsenicales. Por otro lado la temperatura tiene que ver con la solubilidad de sales, gases y el comportamiento microbiológico (Jiménez A. , 2018)

Los análisis de pH y temperatura del suelo se realizaron insitu con la ayuda de un instrumento de medición de suelo, “Gobetter 4 in 1” en cada punto donde se recolectaron las muestras de suelo lo utilizamos para conocer el pH y temperatura del suelo, introduciendo el censor 25 cm bajo tierra (Figura 6).



**Figura 6.** Uso de Medidor Gobbeter 4 in 1 en el suelo agrícola de las parroquias Muluncay Chico, Guizhaguiña y Malvas del cantón Zaruma, provincia de El Oro: **a)** Introduciendo sensor de Medidor en el suelo **b)** Lectura de resultados. **Fuente:** (Vásquez, 2020)

### 3.1.2.2.4 Humedad Cualitativa

Para el análisis de humedad del suelo en porcentaje (%) se ejecutaron 4 fases de acuerdo a (Widland, 2010); (Figura 7).

1. Se tamizo cada muestra de suelo hasta obtener 30 gr. (Figura a)

2. Se pesa el recipiente de aluminio que fue codificado con previa anticipación con ayuda de una balanza de precisión 600g 1mg 110/120v y se procede anotar los valores del recipiente y se encera la balanza. (Figura b)
3. Colocamos 30 gr de suelo tamizado en cada uno de los recipientes. (Figura c)
4. Se lleva a estufa los recipientes de aluminio con la muestra por un periodo de 36 horas a 80° C. (Figura d)



**Figura 7.** Análisis de Humedad del suelo agrícolas de las fincas cafeteras del cantón Zaruma, provincia de El Oro: **a)** Tamizado de la muestra **b)** Pesado y codificación del recipiente **c)** Pesado de la muestra **d)** Secado de la muestra. **Fuente:** (Vásquez, 2020)

Cumplidas las 36 horas se retira las muestras de estufa y se procede a pesarlas de inmediato nuevamente para que no absorban humedad del ambiente, este nuevo peso lo anotamos en nuestra tabla, con lo que tendremos peso inicial y peso final de cada muestra. Para conocer la nuestro porcentaje de humedad utilizamos la siguiente formula.

$$\frac{\text{Peso Inicial} - \text{Peso Final}}{\text{Peso Inicial}} \times 100$$

En el peso Inicial colocamos la sumatoria de los 30 gr de muestra y lo que pesaba el recipiente, en cuanto al peso final es el que obtuvimos al sacar la muestra de la mufla. Al multiplicar por 100 nos da el resultado en porcentaje (Widland, 2010).

### 3.1.2.2.5 Materia Orgánica

Para calcular el contenido de materia orgánica utilizamos recipientes de aluminio que pesamos y codificamos por separado, seguidamente colocamos un contenido de muestra de suelo de 10 gr a cada uno. Utilizamos un mechero que produzca una llama de aproximadamente 400 grados Celsius y se mantenga azul, dejamos cada muestra durante 45 minutos (Figura 8).



**Figura 8.** Muestras en mechero. **Fuente:** (Vásquez, 2019)

Como último pesamos el recipiente para conocer su peso final, aquí tendremos un suelo sin materia orgánica. Para conocer el porcentaje de materia orgánica de cada muestra utilizamos la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{Peso Inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso Inicial}} \times 100$$

El peso Inicial es la sumatoria del peso del recipiente más 10 gr de muestra, el peso final es el que obtenemos al sacar las muestras del mechero después de haber pasado 45 min. Multiplicamos por 100 para obtener el porcentaje de materia orgánica que contenía cada muestra de suelo (Widland, 2010)

Para la representación cualitativa de los resultados de materia orgánica se utilizara la tabla establecida por Tavera que indica sus niveles según el porcentaje existente. (Tabla 6)

**Tabla 6.** Tabla de Materia Orgánica para la interpretación de resultados

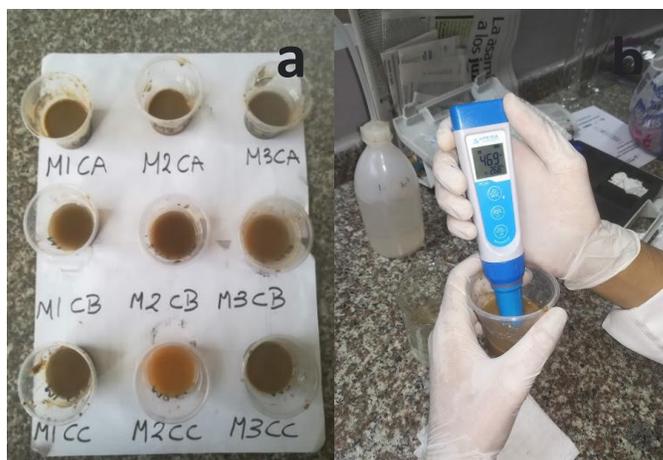
<b>Materia Orgánica M.O. (%)</b>	
<b>Nivel</b>	<b>%</b>
Muy Pobre	<1
Pobre	1-2
Medio	2-3
Rico	3-5
Muy rico	>5

Fuente: (Tavera, 1985).

### **3.1.2.2.6 Conductividad y Salinidad**

El propósito de conocer la conductividad eléctrica es conocer la habilidad para transportar una corriente eléctrica y obtener un estimado del contenido de solidos disueltos (Jiménez A. , 2018). Por otra parte el aumento de la salinidad es un factor que infiere en la incrementación de la movilidad y retención de metales pesados (Galán & Romero, 2008)

Para la preparación de esta muestra se colocó 50 gr de suelo en un recipiente y 50 ml de agua destilada, se mezclan hasta obtener una muestra homogénea. Por medio de decantación separamos el líquido del solido obteniendo así una muestra liquida en la que procedemos a sumergir el censor del medidor multiparamétrico y los resultados no son dados automáticamente de forma digital (Figura 9).



**Figura 9.** Medición de variables químicas del suelo: **a)** Muestras Decantadas **b)** Lectura de resultados. **Fuente:** (Vásquez, 2020)

### 3.1.2.3 Procesamiento de muestras de café

#### 3.1.2.3.1 Café Molido

Se tomó 500 gr de café por cada lote de cosecha en cada una de las fincas del cantón de Zaruma, la misma que fue almacenada en fundas ziploc y codificada según la marca del café (CA, CB y CC) y el número de muestra por lote de cosecha (1, 2 y 3), para finalmente enviar las muestras al laboratorio acreditado ANAVANLAB CIA. Ltda. En la ciudad de Quito – Ecuador (Figura 10).



**Figura 10.** Codificación de muestras de café molido  
**Fuente:** (Vásquez, 2020)

### 3.1.2.3.2 Café en Infusión

Para preparar la infusión se hirvió 2 litros de agua y se procedió a añadir 10 cucharadas de café molido en el filtro de tela, para posteriormente añadir agua hirviendo con un promedio de 4 filtrados al café para que la concentración de este sea lo mayor posible. Finalmente se separó 500 ml de café de infusión en un envase de vidrio de color ámbar con su respectiva codificación y replicas siguiendo la Norma Ecuatoriana INEN 1122 (Figura 11).



**Figura 11.** Preparación de la infusión  
**Fuente:** (Vásquez, 2020)

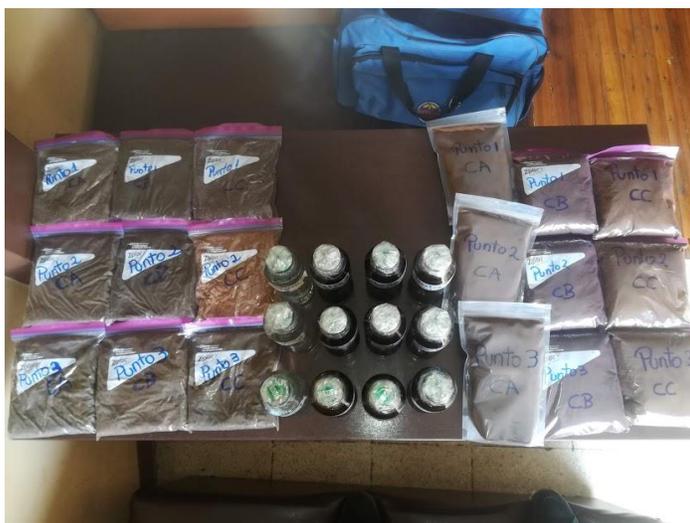
### 3.1.2.3.3 Suelo

Las muestras de suelo fueron recolectadas en las parroquias Muluncay Chico, Guizhaguiña y Malvas del cantón Zaruma donde se cultivan las marcas de café escogidas, se usaron fundas ziploc codificadas para su recolección, posteriormente se pesó 1 kg por cada punto de muestreo (Guía para el Muestreo de Suelos, 2014)

### 3.1.2.3.4 Transporte de muestra

Todas las muestras recolectadas de café molido, infusión y suelo de cada una de las fincas productoras de las diferentes marcas de café escogidas fueron empacadas en una maleta en orden de codificación (Figura 12). Luego fueron enviadas a la ciudad

de Quito al laboratorio acreditado ANAVANLAB CIA. Ltda. utilizando el servicio de transportes de encomiendas Servientrega.



**Figura 12.** Total de muestras enviadas al laboratorio  
**Fuente:** (Vásquez, 2020)

#### 3.1.2.4 Método de laboratorio ANAVANLAB

Se empleó el método de espectrofotometría de absorción atómica (EAA), el mismo que es frecuentemente utilizado para la identificación de diferentes elementos, expresadas en mg/L y  $\mu\text{g/ml}$  en una amplia variedad de muestras biológicas y medioambientales para determinar trazas de metales (Blago, 1994) (Vásquez, 2012). La espectrofotometría de absorción atómica de llama es un método con mucha sensibilidad, especificidad y facilidad para operar, es por esto que se considera uno de los métodos más empleados para la detección de metales pesados. La muestra con este método de solución es aspirada a una llama de flujo laminar (Viñan, 2019).

Las muestras sólidas fueron analizadas por el laboratorio acreditado ANAVANLAB, el mismo que se fundamenta en la metodología estándar de la EPA 7000 A: “métodos de absorción atómica” 7061 A: arsénico (absorción atómica, hidruro gaseoso) y además en el método EPA 3051 “digestión acida asistida por horno microondas de suelos, lodos y sedimentos”

#### **3.1.2.4.1 Manejo de muestras**

Las muestras solidas fueron almacenadas en fundas plásticas Ziploc, las mismas que fueron refrigeradas a una temperatura de 4°C, para su posterior tratamiento en el laboratorio. Las muestras fueron digestadas en un tiempo máximo de 10 días. Para su procesamiento se necesita que se mantengan condiciones ambientales de 15 y 30 °C de temperatura, y una humedad relativa entre 20 y 80 %.

#### **3.1.2.4.2 Procedimiento para el análisis de As en muestras sólidas**

Se homogenizada la muestra con el fin de retirar cualquier tipo de materia extraña, para posteriormente realizar una digestión acida asistida por microondas, añadiéndole 10mL de ácido nítrico concentrado a cada vial de acuerdo al método EPA 3051.

1. Se colocaron los viales de digestión dentro de chaquetas codificadas y se las ordeno de manera ascendente.
2. Se peso 0.50 g de muestra en un vial de digestión.
3. Se añadió 10mL de ácido nítrico concentrado a cada vial
4. Se preparo un blanco solamente con ácido nítrico
5. El disco de liberación de presión se colocó y tapo sobre los viales
6. Se llevo la manguera de ventilación a una campana de extracción y en el equipo se distribuyó las muestras.
7. Al finalizar se deja enfriar hasta aproximadme 60 °C y se saca del equipo. Se deja que los viales se enfríen al ambiente completamente.
8. Se transfiere cada vial a un embudo de vidrio con papel filtro, se recoge el filtrado en un balón aforado de 25mL clase A.
9. Por último la digestión por duplicado se realiza cada 10 muestras para los controles de reproducibilidad y repetibilidad.

### **3.1.2.4.3 Procedimiento para el análisis de As en muestras líquidas**

Se empleó el método EPA 3015 “Digestión acida asistida por microondas para muestras de extractos acuosas”

### **3.1.2.4.4 Lectura de resultados**

Todos los resultados fueron dados en unidades de mg/kg y los valores que se encuentran por debajo del límite de cuantificación se los represento como  $< 0.1$ .

### **3.1.2.5 Análisis estadístico de datos**

Los datos colectados en la fase de campo y laboratorio fueron ingresados en una hoja de cálculo y tabulados en una base de datos del paquete informático Microsoft Office (Excel 2013), para posteriormente procesarlos con el software estadístico Minitab versión 17.0.

#### **3.1.2.5.1 Suelo**

Se realizaron pruebas de normalidad a las concentraciones de As en el suelo y una vez que no se comprobó los supuestos de la ANOVA, se realizó un análisis de varianza mediante la aplicación de una prueba no paramétrico Kruskal-Wails la cual compara las medianas de los promedios tomando el valor ( $p < 0.05$ ), para establecer diferencias estadísticas significativas, las mismas que serán representadas en cajas de bigote según Boyer, (1997).

### 3.1.2.5.2 Variables Físico-Químicos

Se realizó una prueba de bondad de ajuste Anderson Darling y se comprobó la homocedasticidad mediante un test de Bartlett. Se aplicó la prueba paramétrica de ANOVA de un solo factor, tomo el valor de  $p < 0.05$  y finalmente se comparó las medias de dos grupos en términos de varianza intragrupal aplicando la prueba de Tukey (Zar, 1996).

### 3.1.2.5.3 Correlacionar los parámetros físico-químicos con la presencia de arsénico

Para correlacionar las variables ambientales con las concentraciones de As en el suelo se efectuó un Análisis de Componentes principales El ACP no minimiza la variabilidad intra-grupo como lo hace el análisis discriminante canónico (Johnson, 1998), ya que cada punto es asumido como diferente, sin importar a que clasificación pertenece, y finalmente se aplicó una correlación simple no paramétrica (Spearman), la cual evalúa la intensidad de asociación entre las variables, empleando el Minitab versión 17.

#### Coeficiente de correlación de Spearman

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum d^2}{n(n^2 - 1)}$$

**Donde:**

$r_s$ = Coeficiente de correlación de Spearman (r)

$d$ = diferencia entre los rangos (X menos Y)

$n$ =Simboliza el número de datos obtenidos

Los rangos absolutos Spearman se establecieron conforme al criterio de (Evans, 1996); (Tabla 7).

**Tabla 7.** Rangos absolutos de correlación de Spearman (Evans, 1996)

<b>Rangos</b>		<b>Interpretación</b>
0	0,19	Muy débil
0,20	0,39	Débil
0,40	0,59	Moderado
0,60	0,79	Fuerte
0,80	1	Muy Fuerte

**Fuente:** (Evans, 1996)

## CAPITULO IV

### 4.1 Resultados

#### 4.1.1 Análisis de variables físicas y químicas del suelo de 3 parroquias del cantón Zaruma donde se cultiva café arábigo.

##### 4.1.1.1 pH

Los valores obtenidos de pH, que se registró en las tres parroquias del cantón Zaruma, muestran que el suelo es neutro, el cual no sufrió variabilidad en el mismo con valor de 6.9 pH en todos los lotes (Tabla 8).

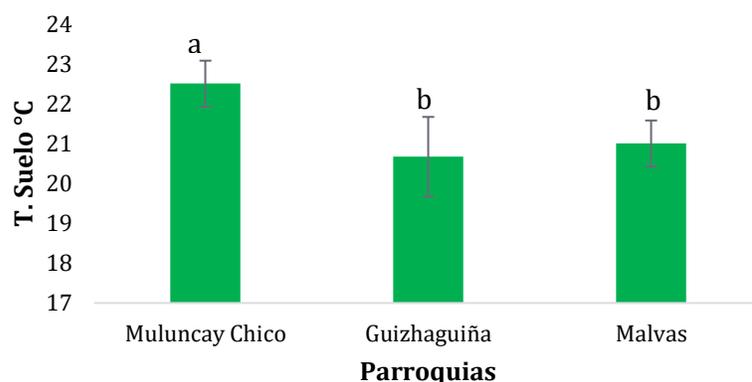
**Tabla 8** Niveles de pH de suelos de Parroquias

<b>Parroquias</b>	<b>Café</b>	<b>CODIGO DE MUESTR A</b>	<b>pH</b>
<b>Muluncay Chico</b>	Muestra A	CA 1	6,9
		CA 2	6,9
		CA 3	6,9
<b>Guizhaguiña</b>	Muestra B	CB 1	6,9
		CB 2	6,9
		CB 3	6,9
<b>Malvas</b>	Muestra C	CC 1	6,9
		CC 2	6,9
		CC 3	6,9

**Fuente:** (Vásquez, 2020)

#### 4.1.1.2 Temperatura del suelo

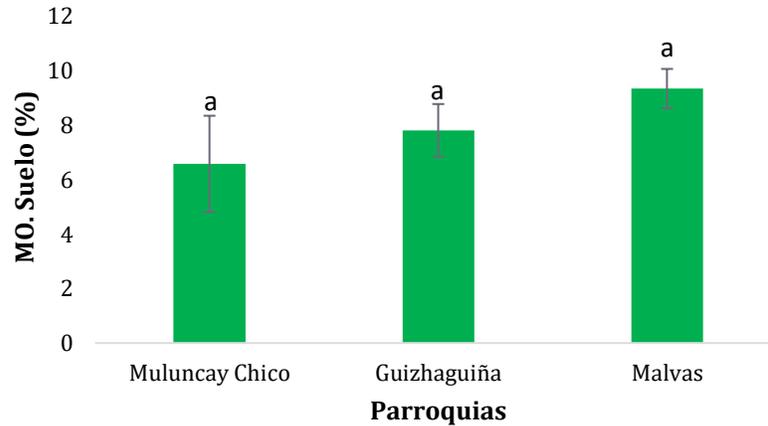
La temperatura de los suelos agrícolas en las tres parroquias donde se cultiva el café arábigo registraron su máximo valor en la parroquia Muluncay Chico con  $22.5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.57735027$ ; mientras que en Guizhaguiña se presentó el menor valor con  $20.7\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1$ . Estos datos muestran diferencias significativas según prueba de ANOVA y análisis a posteriori de Tukey ( $F=6,20$  y  $p=0,035$ ), entre las temperaturas de los suelos agrícolas de las localidades de estudio (Figura 13).



**Figura 13.** Temperatura de los suelos agrícolas donde se cultiva el café arábigo en las diferentes parroquias del cantón Zaruma; letras diferentes indican que hay diferencias significativas según Tukey ( $p<0.05$ ). Los resultados están expresados como media  $\pm$  desviación estándar. **Fuente:** (Vásquez, 2020)

#### 4.1.1.3 Materia Orgánica

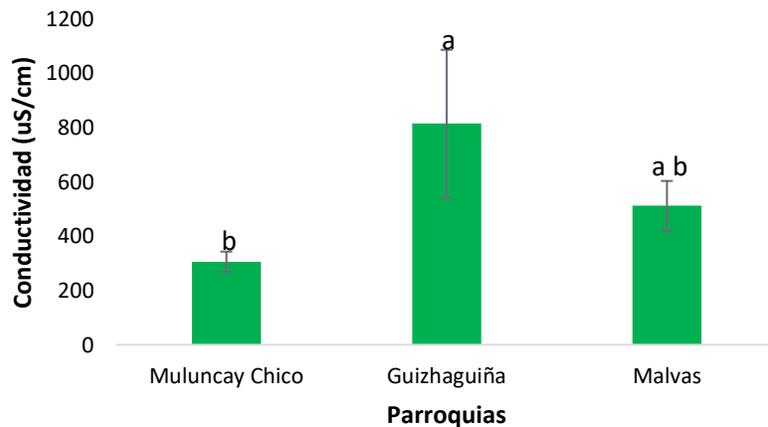
En cuanto materia orgánica la parroquia Malvas fue la que presentó mayor porcentaje con  $9.34\% \pm 0.72254658$ ; mientras que en Muluncay Chico se registró el menor porcentaje con  $6.581\% \pm 1.76250544$ ; en esta variable no se detectaron diferencias significativas según prueba de ANOVA y análisis a posteriori de Tukey ( $F=3,76$  y  $P=0,088$ ) entre el porcentaje de materia orgánica y las parroquias se estudió (Figura 14).



**Figura 14.** Materia Orgánica de los suelos donde se cultiva el café arábigo en las diferentes parroquias del cantón Zaruma; letras diferentes indican que hay diferencias significativas según Tukey ( $p < 0.05$ ). Los resultados están expresados como media  $\pm$  desviación estándar. **Fuente:** (Vásquez, 2020)

#### 4.1.1.4 Conductividad

La mayor conductividad eléctrica se presenta en la parroquia Guizhaguiña con  $813 \text{ uS/cm} \pm 0.03743439$ ; mientras que en Muluncay Chico registro el menor valor con  $305.3 \text{ uS/cm} \pm 0.09128162$ ; La conductividad presenta diferencias significativas según prueba de ANOVA y análisis a posteriori de Tukey ( $F=7,01$  y  $P=0,027$ ), entre las tres parroquias (Figura 15)

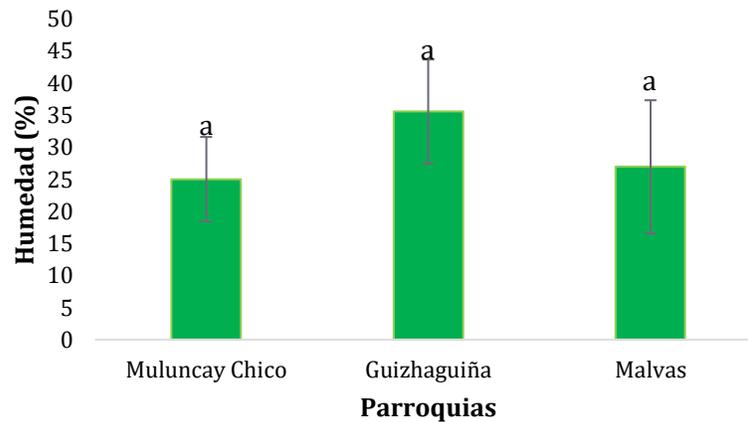


**Figura 15.** Conductividad eléctrica de los suelos agrícolas donde se cultiva el café arábigo en las diferentes parroquias del cantón Zaruma; letras diferentes indican que hay diferencias

significativas según Tukey ( $p < 0.05$ ). Los resultados están expresados como media  $\pm$  desviación estándar. **Fuente:** (Vásquez, 2020)

#### 4.1.1.5 Humedad

El suelo con mayor porcentaje de humedad se localizó en la parroquia Guizhaguiña con  $35,52 \% \pm 8,12355643$ ; mientras que en la parroquia Muluncay Chico registro el menor valor con  $24,99 \% \pm 6,57895634$ ; los cuales no presentaron diferencias estadísticamente significativas según prueba de ANOVA y análisis a posteriori de Tukey ( $F = 1,12$  y  $P = 0,386$ ), entre las tres parroquias de estudio (Figura 16).

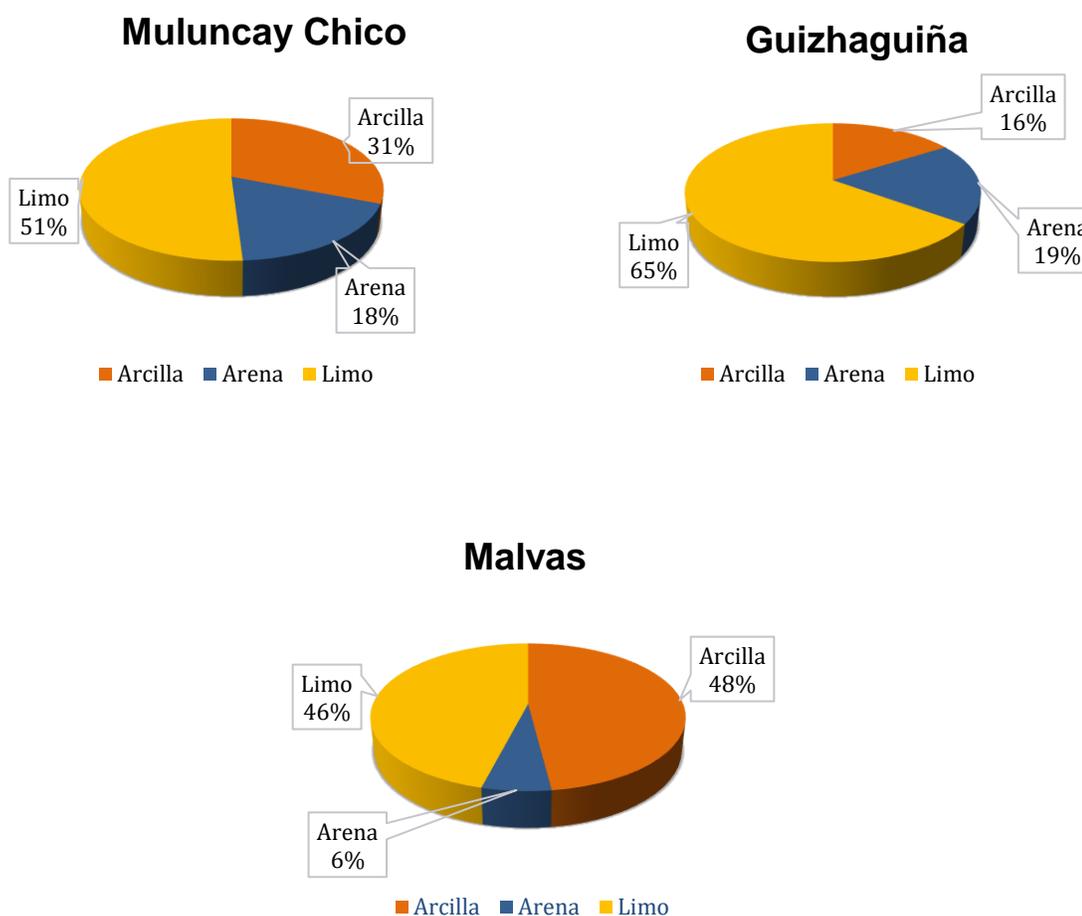


**Figura 16.** Humedad de los suelos agrícolas donde se cultiva el café arábigo en las diferentes parroquias del cantón Zaruma; letras diferentes indican que hay diferencias significativas según Tukey ( $p < 0.05$ ). Los resultados están expresados como media  $\pm$  desviación estándar. **Fuente:** (Vásquez, 2020)

#### 4.1.1.6 Textura

Dado a las características que presentan los suelos agrícolas, la clasificación textural de cada una de las parroquias que han sido evaluadas muestran que Muluncay Chico en los tres lotes fue franco Arcillo Limosa con un (51%) Limo, (31%) arcilla y (18%) arena; mientras que la parroquia Guizhaguiña se encontró un suelo Franco limosa en los tres lotes, con un (65 %) limo, (19 %) arena y (16 %) arcilla; y en Malvas

se observó una textura arcilla limosa con un porcentaje de arcilla (48 %), limo (46 %) y un porcentaje bajo de arena (6 %) (Figura 17)



**Figura 17.** Porcentaje de arcilla, limo y arena en suelo donde se cultiva café arábigo en 3 parroquias del cantón Zaruma. **Fuente:** (Vásquez, 2020)

#### 4.1.2 Niveles de arsénico en café artesanal

Las muestras de café que se distribuyen en el cantón Zaruma, presentó contaminación por As en la presentación de café molido de las tres marcas. Es así, que solo en un lote se registró concentraciones de 0.476 mg/Kg en la marca CC1 (Malvas), seguido de la marca CB1 (Guizhaguiña) con 0.34 mg/Kg y por último la marca CA1 (Muluncay Chico) con 0.262 mg/Kg (Tabla 9), mientras que el café en

infusión registro valores < 0,0005 mg /kg siendo este metal no detectable para ninguna de las marcas estudiadas (Tabla 10).

**Tabla 9.** Concentración de arsénico en café molido de origen artesanal

Sustrato	Parroquias	Muestra	Lote	As. Café molido mg/Kg
Molido	Muluncay Chico	CA	1	0,262
		CA	2	<0,1
		CA	3	<0,1
	Guizhaguiña	CB	1	0,34
		CB	2	<0,1
		CB	3	<0,1
	Malvas	CC	1	0,476
		CC	2	<0,1
		CC	3	<0,1

Fuente: (Vásquez, 2020)

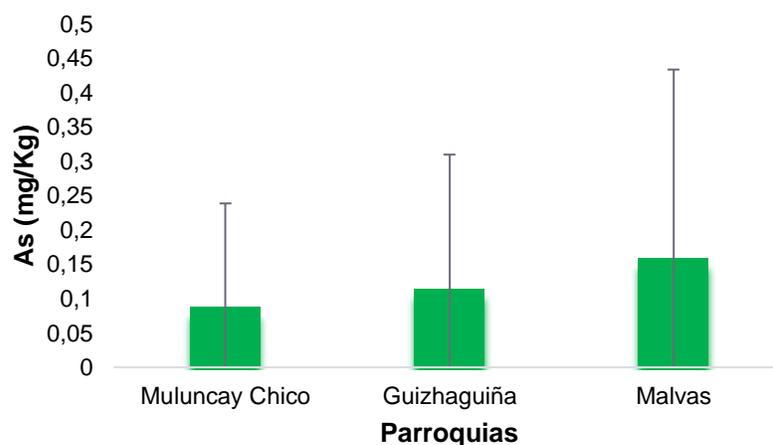
**Tabla 10.** Concentraciones de arsénico en café en infusión de origen artesanal.

Sustrato	Parroquias	Muestra	Lote	As. Café en infusión
Infusión	Muluncay Chico	CA 1	1	<0,0005
		CA 2	2	<0,0005
		CA 3	3	<0,0005
	Guizhaguiña	CB 1	1	<0,0005
		CB 2	2	<0,0005
		CB 3	3	<0,0005
	Malvas	CC 1	1	<0,0005
		CC 2	2	<0,0005
		CC 3	3	<0,0005

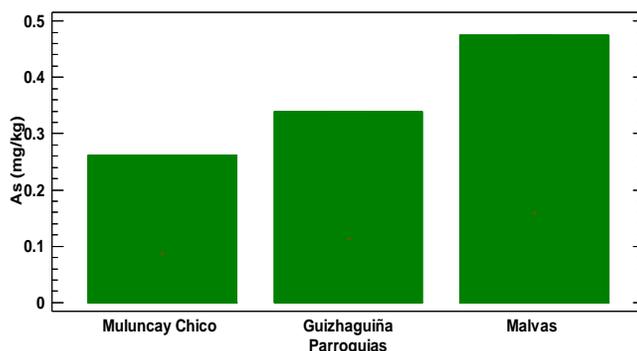
Fuente: (Vásquez, 2020)

#### 4.1.2.1 Niveles de As en Café Molido

Los valores promedios de la concentración de As en café molido, muestran rangos bajos de este metal: siendo la marca CC (Malvas) quien obtuvo la mayor concentración con  $0.15 \text{ mg/kg} \pm 0.274819$ ; mientras que el menor valor lo registró CA (Muluncay Chico) con  $0.08 \text{ mg/kg} \pm 0.151266$  (Figura 18), los cuales no registraron diferencias estadísticamente significativas entre las localidades (KW= 0.12549; P=0.939183); (Figura 19)



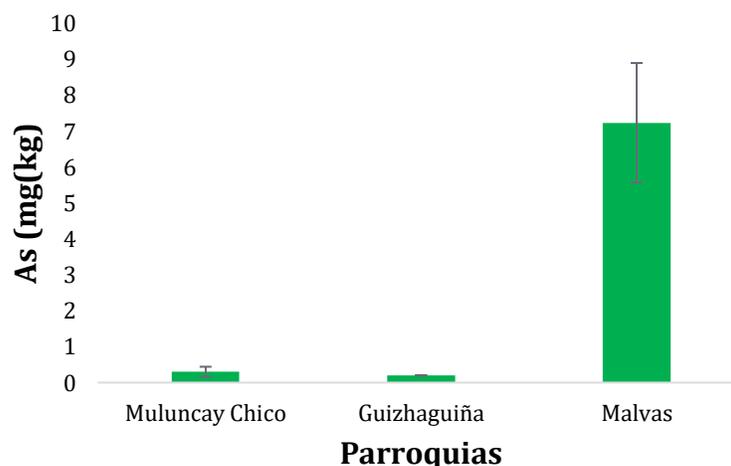
**Figura 18.** Concentraciones de Arsénico en café molido proveniente de las parroquias: Muluncay Chico (CA), Guizhaguiña (CB) y Malvas (CC) comercializado en el cantón Zaruma. Los resultados están expresados como media  $\pm$  desviación estándar. **Fuente:** (Vásquez, 2020)



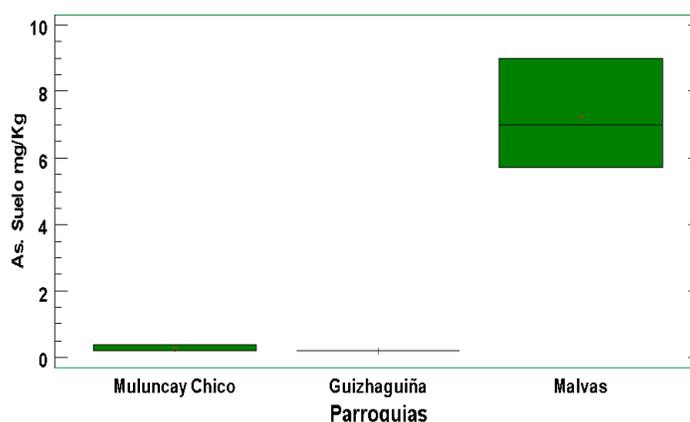
**Figura 19.** Representación gráfica de las diferencias significativas de la concentración de As entre las parroquias: Muluncay Chico (CA), Guizhaguiña (CB) y Malvas (CC) obtenido en el café arábico comercializado en el cantón Zaruma; se toma como referencia  $p < 0.05$ . **Fuente:** (Vásquez, 2020)

### 4.1.3 Niveles de arsénico en el suelo

Los suelos agrícolas registran concentraciones de As en las tres parroquias donde se cultiva el café arábigo, siendo en la parroquia Malvas donde se obtuvo la mayor concentración con  $7,233 \text{ mg/kg} \pm 1,66233$ , mientras que en la localidad de Guizhaguiña alcanzo el menor valor con  $0,2 \text{ mg/kg} \pm 0$  (Figura 20); estos datos muestran que hay diferencias estadísticamente significativas entre las varianzas de las medias de las muestras de suelo ( $KW=6,72$  y  $P=0,0347353$ ); (Figura 21).



**Figura 20.** Concentraciones de Arsénico en suelo de las parroquias donde se cultiva café Arábigo: Muluncay Chico (CA), Guizhaguiña (CB) y Malvas (CC). Los resultados están expresados como media  $\pm$  desviación estándar. **Fuente:** (Vásquez, 2020)



**Figura 21.** Representación gráfica de las diferencias significativas de la concentración de As presentes en el suelo entre las parroquias: Muluncay Chico (CA), Guizhaguiña (CB) y Malvas (CC); se toma como referencia  $p < 0.05$  según Kruskal-Wallis. **Fuente:** (Vásquez, 2020)

**Comparación de las concentraciones de Arsénico obtenidas en muestras de café artesanal, en sus presentaciones molido e infusión, en base a la normativa nacional e internacional con relación a los límites permisibles establecidos**

Al comparar las concentraciones de As en las muestras de café molido e infusión entre las parroquias, muestran que la concentración de este metal obtuvo valores bajos entre 0.15 mg/kg en la marca CC, y CA con 0.08 mg/kg rangos que no superan lo establecido por la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1122 para café soluble el cual establece que el LMP de As (0.5 mg/Kg); y normativa internacional MERCOSUR (2011) cuyo LMP de As es (0.2 mg/Kg), para café torrado en granos y polvo. Mientras que en café en infusión no se encontró presencia de este metal en ninguna de las marcas estudiadas. (Tabla 11)

**Tabla 11** Comparación de las concentraciones de arsénico en café molido e infusión entre los diferentes marcas comercializadas en el cantón Zaruma CA, CB Y CC. Bajo la normativa Nacional e internacional. **Fuente:** (Vásquez, 2020)

Norma LMP. As	INEN 1122 0.5 mg/Kg	MERCOSUR 0.2 mg/Kg
Café molido	✓	✓
Café Infusion	✓	✓

Nota: Los simbolos “✓” indican que esta por debajo de la normativa y que su consumo no representa ningun tipo de peligro para la salud.

**Comparación de las concentraciones de Arsénico obtenidas en Suelo de parroquias donde se cultiva café arábigo en base a la normativa nacional e internacional con relación a los límites permisibles establecidos**

De la misma manera se realizó un análisis al contenido de As en suelo como posible fuente de contaminante al café, se registrándose valores por debajo de la norma para las parroquias Malvas con un promedio de 7.23 mg/Kg y Guizhaguiña con 0.2 mg/Kg valores que no sobrepasaron el LMP de As, de acuerdo al criterio de calidad de suelo del Acuerdo Ministerial 097-A (2015), quien determino que el valor máximo permisible para suelos 12 mg/Kg. Según la Norma internacional Mexicana NOM-147-

SEMARNAT/SSA1-2004 no existe contaminación por arsénico ya que establece un LMP de 22 mg/Kg. (Tabla 12)

**Tabla 12** Comparación de las concentraciones de arsénico en suelo de tres diferentes parroquias del cantón Zaruma donde se cultiva café arábigo con respecto a la normativa nacional e internacional. **Fuente:** (Vásquez, 2020)

Norma LMP. AS	AM 097-A 12 mg/Kg	NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 22 mg/Kg	
Suelo		✓	✓

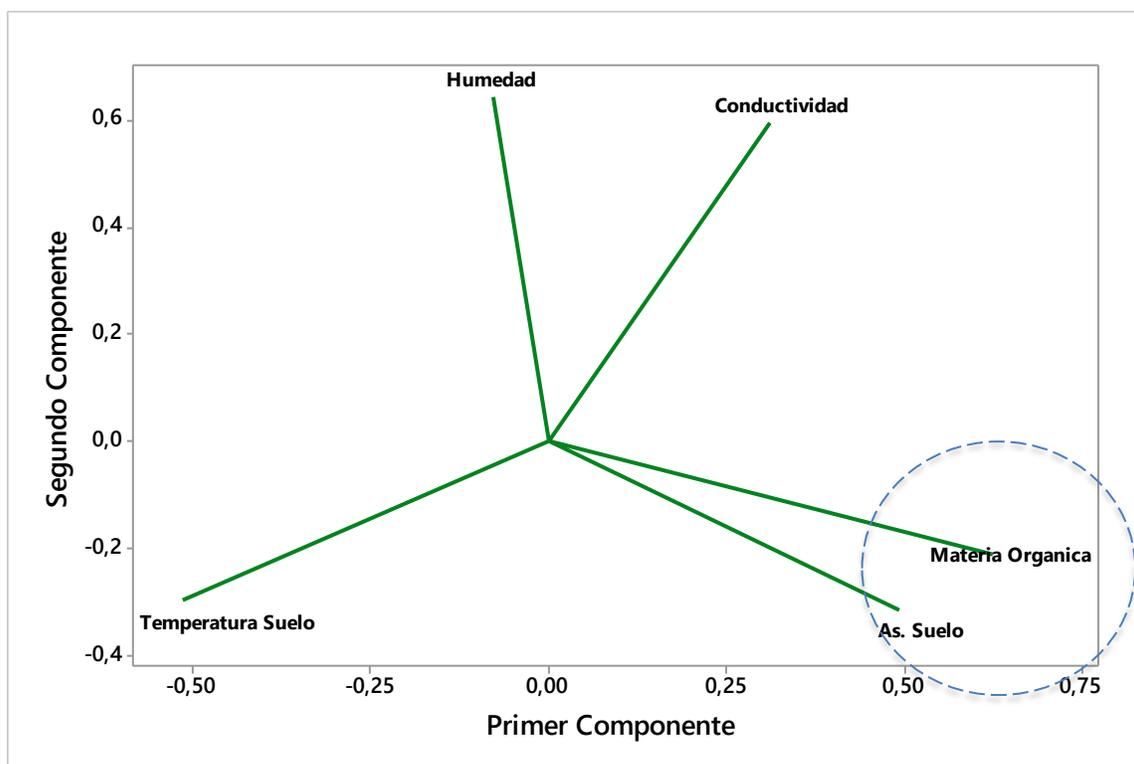
Nota: Los simbolos “✓” indican que la concentracion de As para suelos agricolas esta por debajo de la normativa.

### **Correlación de variables ambientales que inciden en la concentración de arsénico en los suelos agrícolas del cantón Zaruma**

La varianza acumulada de valores de las variables en los tres primeros componentes del ACP en los suelos agrícolas donde se cultiva café arábigo muestra un 93% del total (Tabla 13). En el primer componente se demostró la existencia de una correlación positiva y fuerte ( $r_s=0.625$ ) con la materia orgánica y débil ( $r_s=0.311$ ) con la conductividad; mientras que la temperatura del suelo presenta un rango de moderado ( $r_s=-0.514$ ) y muy débil con la humedad ( $r_s=-0.078$ ) e inversa en el primer componente. En tanto en el segundo componente la variable conductividad muestra una escala de débil ( $r_s=0.397$ ) y muy fuerte con la humedad ( $r_s=-0.685$ ) con una correlación positiva entre ellas. Sin embargo, la materia orgánica y la temperatura muestran una correlación negativa con rangos entre muy débil ( $r_s=0.179$ ) y débil ( $r_s=-0.316$ ) con la concentración de As en el suelos agrícolas de café (Figura 22).

**Tabla 13** Porcentaje de varianza explicada por los tres primeros componentes del análisis de componentes principales (ACP) aplicados a las variables medidas en los suelos donde se cultiva café arábigo en el cantón Zaruma. **Fuente:** (Vásquez, 2020).

Número de componentes	Valor	Porcentaje de Varianza	Porcentaje de Varianza Acumulada
1	2.18994	43.799	43.799
2	1.88013	37.603	81.401
3	0.566092	11.322	92.723
4	0.320014	6.4	99.123
5	0.0438302	0.877	100



**Figura 22.** Proyección ortogonal de los dos primeros componentes del Análisis de Componentes Principales del As en suelo entre las variables ambientales de los suelos agrícolas de las parroquias del cantón Zaruma. **Fuente:** (Vásquez, 2020)

## CAPITULO V

### 5.1 Discusión

El café es uno de los productos más comercializados en el mundo y en el Ecuador ha representado el 0.49% de la producción mundial; es por ello que el recurso natural de mayor relevancia en este estudio es el suelo, ya que se desea conocer si existe una relación con los metales pesados producto de las actividades antrópicas y agrícolas en el producto.

En el presente estudio se mostró que existe contaminación de As en el suelo de las parroquias del cantón Zaruma donde se cultiva café artesanal, lo cual represento un 33% de contaminación principalmente en la parroquia Malvas con (7.233 mg/Kg); valores que difieren a lo reportado por (Mahimairaja, Bolan, Adriano, & Robinson, 2005), el cual estableció que las concentraciones naturales promedio en el suelo en los ecosistemas terrestres se encuentran entre 5 a 6 mg/Kg. Posiblemente por las actividades mineras que se encuentra próximas a esta localidad; ya que existen escombreras a la intemperie y que procesos climatológicos que llegan a oxidar las rocas (silicatos), en su mayoría cuarzo y estas son transportados por los vientos y escorrentías. Según (Lilo, 2007) indica que el mineral (cuarzo) contiene concentraciones de As de 0.4 – 1.3 mg/Kg transportándose por escorrentía o volatilización a suelos de cultivo.

Un estudio realizado por (Hernández, y otros, 2013) sobre los comportamientos del arsénico en suelos de la región lagunera de Coahuila, México realizo una investigación de adición de fosforo al suelo para verificar el movimiento del As, los resultados mostraron que al agregar P la disponibilidad del As incremento de 9.8 a 22.17 cmol.kg<sup>-1</sup> ; Lo que corrobora la presencia de As en la parroquia Guizhaguiña con 0.4 mg/kg condición que no está relacionada por la actividad minera. Sim embargo, el uso de fertilizantes ricos en P, estimulan la presente de As en el suelo.

En tanto las concentraciones de As en el café molido presento valores bajos entre todas las localidades analizadas, siendo la marca CC (Malvas) quien registro la mayor concentración con (0.15 mg/Kg); mientras que los valores de As en café registrados en la Zona de Jaén – Cajamarca Perú por (Condezo & Huaraca, 2018) son menores a lo registrado en el presente estudio, en concentraciones promedios de As de 0.11 mg/Kg. Sin embargo la presencia de otros metales como el plomo en el café artesanal se ha evidenciado en la provincia de Loja por (Viñan, 2019) indico que el café molido presento concentraciones (2.22 mg/kg); aunque en metales no esenciales (Pb y Cd) no registraron niveles detectables en café molido según (Abeba, 2010).

El As al ser un elemento extremadamente volátil tiende a estar presente en la atmosfera, y al estar en contacto con los suelos agrícolas tienen la propiedad de bioacumulación en los cultivos. Dato que es corroborado por (Salvador, Rainiero, & Yopez, 2017) en su estudio de plantaciones de arroz en la parroquia Cuca (Provincia de El Oro) al establecer que la mayor concentración de As se dio en el tallo y este a su vez se observó un aumento en el grano, como producto de la biodisponibilidad del metal en el suelo; Es así que podría darse la transferencia de As al producto que se obtiene de las plantaciones de café en la provincia de El Oro.

De acuerdo a los valores establecidos por la normativa nacional vigente Acuerdo Ministerial 097-A (2015) la cual establece un LMP de As para suelos de 12 mg/Kg ninguna de las parroquias sobrepasa la norma, de la misma manera la norma internacional Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 no existe contaminación por arsénico ya que establece un LMP de 22 mg/Kg. Malvas fue la parroquia que más registro presencia de este metal con un promedio de (7.23 mg/Kg), los suelos de esta parroquia están próximos a la actividad minera. (Agudo, 2015), nos dice que la extracción de metales supone una fuente de As y metales pesados, estos pueden alcanzar territorios alejados de su origen, siendo así un gran problema medioambiental debido a los efectos toxicológicos que tienen sobre la salud de los seres humanos y los ecosistemas.

Lo cual coincide con (Förstner, 1995), al establecer que el impacto de la actividad minera incide en la presencia de As y este puede estar presente en el suelo, atmosfera, aguas subterráneas y superficiales, afectándose así al hombre, y ecosistemas. Así mismo, (Mahimairaja, Bolan, Adriano, & Robinson, 2005) indico que el uso de pesticidas y fertilizantes, además de las características geológicas y el clima pueden aumentar la presencia de As en el suelo hasta  $2.5 \times 10^5$  mg/Kg, lo que confirma la teoría de (Woolson, 1973) al argumentar que algunos óxidos de hierro produce que la disponibilidad del arsénico se aumente, el fosforo desplaza y libera arsénico en el suelo dejándolo libre. El fertilizante que más dominio tiene en la toxicidad del arsénico es el fosforo, el cual es capaz de desplazar al arsénico, disminuyendo la toxicidad para varios cultivos. Según (Wenzel, 2002) afirman que los fertilizantes poseen dentro su composición química del metal As.

Comparando las concentraciones promedio de As en café molido en las tres marcas estudiadas se encuentran bajo los límites máximos permisibles (LMP) de la Norma técnica Ecuatoriana INEN 1122 para café soluble el cual establece un LMP de As de 0.5 mg/Kg y como normativa internacional MERCOSUR (2011) que establece un LMP de 0.2 mg/Kg. Siendo la marca CC (Malvas) quien registró la máxima concentración promedio con (0.15 mg/Kg), los cultivos de café de este punto se encontraba aproximadamente a 200 m de una concesión minera, lo que corrobora lo dicho por (Carbonell Barrachina, Mataix Beneyto, & Burló Carbonell, 1995), el cual estableció que las grandes cantidades de As se dan en depósitos, desechos mineros y escorias de fundiciones. Según (Masindi & Muedi, 2018) estable que el principal vector de dispersión del As en el aire es a través del polvo y material particulado que es transportado a los suelos agrícolas de café.

Así mismo, (Mandal & Suzuki KT, 2002) indico que en ambientes aeróbicos se encuentran los arseniatos siendo estables y fuertemente adsorbidos sobre suelo arcilloso y materia orgánica. Sin embargo en otros puntos donde se encontró concentraciones de As en el suelo no se encontró As en el café molido, es así que

(Moreno, Esteban, & Peñalosa, 2012) dice que cualquier cambio en los factores ambientales como (pH, Clima, Biología, Hidrología, MO, etc.) o cualquier tipo de alteración del contenido mineral (disolución, precipitación, oxidación y reducción) puede causar alteraciones a la disponibilidad de un elemento en el suelo.

Desde el punto de vista físico químico indican que la disponibilidad de este metal en el suelo se da principalmente por: pH, Materia Orgánica y Textura del suelo.

La variable pH presente en los suelos agrícolas fue de 6.9 en todos ellos, considerado un pH Neutro, según la clasificación de Letelier (1967), siendo esta una variable importante para la determinación de movilidad de As ya que (Fu, y otros, 2011) ha determinado que las plantas asimilan el As en pH alcalinos, (Pérez, 2015) corrobora que los suelos demuestran más retención de As a un pH cerca de 10.5, mientras que en suelos ácidos (por debajo de 2.5) es menos probable que sea retenido por las partículas del suelo. Esto quiere decir que el pH al ser Neutro no se ve relacionada en la disponibilidad de este metal en el suelo.

Los suelos agrícolas de las plantaciones de café artesanal presentaron una clasificación textural de limo, arcilla y arena; predominando el tipo limo en Muluncay Chico (51%) y Guizhaguiña (65%), mientras que en Malvas hay una dominancia de arcilla (48%) según (Lesikar et al, 2005). Esto coincide con (Fernandez del Baño, 2012) el cual indicó que los suelos arcillosos tiende a adsorber con facilidad los elementos traza en la superficie, y los suelos con fracciones de arena y limo tienen una capacidad menor de adsorción debido a su baja área superficial.

El porcentaje de materia orgánica que se presentó en los suelos agrícolas de las plantaciones de café, se encontraron dentro de la categoría de muy rico (>5%) según (Tavera, 1985). Siendo la parroquia Malvas quien registro la mayor proporción con un 9.34 %; estos valores muestran diferencias estadísticamente significativas entre las parroquias. Es así que (Fernandez del Baño, 2012) corrobora la teoría que la Mo es

uno de los factores que afectan a la movilidad del arsénico en los suelos, lo cual concuerda con el presente estudio. Así mismo, (Girouard & Zagury, 2009) estableció que la bioaccesibilidad de arsénico en suelos contaminados con Arseniato de cobre cromatado (CCA): influye en las propiedades del suelo fraccionando el arsénico y el tamaño de la partícula, quien determina la movilidad del As; Es Así, que a mayor porcentaje de Mo presente en el suelo es la capacidad de fijación de este metal.

Existen diferencias de criterio sobre el efecto que produce la Mo en el suelo(inconsciente), es decir en algunos casos la materia orgánica reduce la movilidad del arsénico; mientras que en otros la aplicación de compost (materia orgánica) libera As al suelo (Moreno, Esteban, & Peñalosa, 2012). Esto indica que si existe contaminación antropogénica de As en el suelo uno de los factores más influyentes de la fijación y movilización en el suelo será la materia orgánica. Evans, (1995) estableció que el peso de la correlación ( $r_s=0.625$ ) el cual está dentro de la categoría de fuerte; Por ende, la Mo es la principal variable ambiental que incide en la acumulación de As en los suelos agrícolas de café.

## CAPITULO VI

### 6.1 Conclusiones

- El análisis preliminar en café molido determino que no hay presencia de metales pesados Pb, Cd y Hg en ninguna de las Marcas de Café analizadas en el cantón Zaruma.
- La concentración de Arsénico en la infusión de café no fue detectable ( $<0.0005$  mg/Kg) en ninguna de las parroquias Muluncay (CA), Guizhaguiña (CB) y Malvas (CC), por lo cual se establece que el café en infusión es apto para su consumo.
- La mayor concentración de As en café molido se detectó en la parroquia malvas (marca CC) con un promedio de 0.15 mg/Kg, mientras que la mínima concentración la encontramos en la Parroquia Muluncay (marca CA) con un promedio de As de 0.08 mg/Kg.
- La mayor presencia de As se encuentra en los suelos de cultivo, donde la mayor concentración está en la parroquia Malvas (marca CC) con un promedio de 7.233 mg/Kg, mientras que la mínima concentración la encontramos en la parroquia Guizhaguiña (marca CB) con un promedio de 0.2 mg/Kg).
- Las concentraciones de As en las tres marcas de café analizadas en el presente estudio no superaron los límites máximos permisibles de la normativa nacional Norma técnica Ecuatoriana INEN 1122 para café soluble (LMP 0.5 mg/Kg), e internacional Reglamento Técnico MERCOSUR (LMP 0.2 mg/Kg).
- Las concentraciones de As en los suelo agrícolas de las plantaciones de café arábigo no superaron los límites máximos permisibles de la normativa nacional Acuerdo ministerial 097 A, Anexo 2 Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelo y criterios de remediación para

suelos contaminados que establece un LMP de 12mg/Kg. Tampoco superan La norma internacional Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 que establece un LMP de 22mg/Kg.

- La variable ambiental que tiene mayor incidencia con la concentración de arsénico en suelos agrícolas del cantón Zaruma es la materia orgánica.
- De acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación se acepta la hipótesis de investigación al demostrar que existe contaminación por As en café al registrar concentraciones elevadas de este metal en el suelo.

## 6.2 Recomendaciones

- Se sugiere realizar los análisis de arsénico en laboratorios con mayor precisión en el nivel de detección del metal en muestras sólidas y líquidas.
- Implementar análisis del metal en hojas y tallos de las plantaciones de café para establecer en que sección de la planta se acumula mayor concentración de As.
- Realizar una comparación entre fertilizantes inorgánicos y orgánicos para evaluar el aporte de As como producto de las actividades agrícolas del cantón.
- Establecer los niveles de As presentes en agua de riego como fuente de contaminación en la agricultura.
- En la normativa nacional no se ha establecido un LMP para As en café en grano e infusión; es por eso que se sugiere ampliar los estudios en plantaciones de café en el Ecuador y a su vez definir valores referenciales de LMP con la finalidad de garantizar la seguridad alimenticia como país.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abedin, M., Feldmann, J., & Meharg, A. (2002). Uptake kinetics of arsenic species in rice plants. *Plant Physiol.*
- Agudo, I. (01 de 15 de 2015). *Universida de Murcia*. Obtenido de <https://www.tesisenred.net/handle/10803/362915>
- Alves, S., Mendes, F., Rodriguez, M., Regina, F., Mundstock, A., Rodrigues, K., & Garcia, F. (2016). Determination of heavy metals in the roasted and ground coffee beans and brew. *African Journal of Agricultural Research*, 221-228.
- Andrade, A. (julio de 2017). *PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR*. Obtenido de <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/14147/Trabajo%20de%20Titulaci%C3%B3n%20PUCE%20final.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2010). *Asamblea Nacional del Ecuador*. Obtenido de <http://www.soberaniaalimentaria.gob.ec/prueba/servicios/wpcontent/>
- ATSDR. (08 de 2007). *Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades*.
- Bettancourt, A. (2002). *Varietades de café arábica resistentes a la roya y perspectivas para su utilización en la caficultura futura*. San Salvador, El Salvador : IICA.
- Blago, R. (05 de 1994). *Organizacion de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentacion*. Obtenido de FAO: <http://www.fao.org/3/ab482s/AB482S00.htm#TOC>
- Carbonell Barrachina, A. A., Mataix Beneyto, J. J., & Burló Carbonell, F. (1995). Arsénico en el sistema suelo-planta. En *Arsénico en el sistema suelo-planta* (pág. 139). Alicante: Universidad de Alicante .
- Carbonell, Á. A. (1995). *Arsénico en el Sistema Suelo-Planta*. Alicante: Universidad de Alicante.
- Castro, M. L. (2004). *PRESENCIA DE ARSÉNICO EN EL AGUA DE BEBIDA EN AMÉRICA LATINA Y SU EFECTO EN LA SALUD PUBLICA*. Santiago, Chile: CEPIS/SDE/OPS.
- Charrier, A. (1982). La Mejor Genética de café. *Mundo Científico* , 1064-1075.
- Chen, W., Chi, Y., Taylor, N., Lambers, H., & Finnegan, P. (2010). Disruption of ptLPD1 or ptLPD2, Genes That Encode Isoforms of the Plastidial Lipoamide Dehydrogenase, Confers Arsenate Hypersensitivity in Arabidopsis. *Plant Physiology*, 110.

- Comisión Veracruzana de Comercialización Agropecuaria. (2010). *Comisión Veracruzana de Comercialización Agropecuaria*. Obtenido de Gobierno del Estado de Veracruz:  
<http://portal.veracruz.gob.mx/pls/portal/docs/PAGE/COVECAINICIO/IMAGENS/ARCHIVOSPDF/ARCHIVOSDIFUSION/MONOGRAFIACAFE2010.PDF>
- Condezo, S., & Huaraca, C. (06 de 12 de 2018). *Universidad Norbert Wiener*. Obtenido de <http://repositorio.uwiener.edu.pe/handle/123456789/2571>
- CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR. (20 de 10 de 2008). *CONSTITUCION DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR*. Obtenido de ORGANICACION DE LOS ESTADOS AMERICANOS:  
[https://www.oas.org/juridico/mla/sp/ecu/sp\\_ecu-int-text-const.pdf](https://www.oas.org/juridico/mla/sp/ecu/sp_ecu-int-text-const.pdf)
- Del Cafe Insumos*. (2007). Obtenido de <http://www.delcafe.com.ar>
- Delgado, P., Larco, C., Alcivar, R., Chilán, W., & Patiño, M. (2002). *Informe de Terminación de Proyecto Manejo Integrado de la Broca del Café*. Manta: Héctor Fabio Ospina O.
- Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE.UU. (08 de 2007). *Agencia para Sustancias Toxicas y el Registro de Enfermedades*. Obtenido de [https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs2.pdf](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs2.pdf)
- Duicela, L. A., Farfán, D. S., & Garcia, E. L. (2016). Calidad organoléptica del café (*Coffea arabica* L.) en las zonas centro y sur de la provincia de Manabi, Ecuador. *Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros*, 244.
- EPA. (2006). *EPA*. Obtenido de <https://www.epa.gov/>
- Evans, R. (01 de 06 de 1996). *SAGE Journals*. Obtenido de An Analysis of Criterion Variable Reliability in Conjoint Analysis,:  
<https://doi.org/10.2466%2Fpms.1996.82.3.988>
- Fernandez del Baño, I. M. (03 de 12 de 2012). *Deposito de Investigación Universidad de Sevilla*. Obtenido de Factores que afectan a la movilidad del arsénico en los suelos:  
<https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/87480/Fernandez%20del%20Ba%C3%B1o%2C%20Isabel%20Maria-TESES.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Figuroa, E., Pérez, F., & Godínez, L. (2015). La producción y el consumo del café. En ECORFAN. Spain: GARCIA-MIRANDA, Martha, PhD.
- Förstner, U. (1995). *Land contamination by metals: Global scope and magnitude of problem*. Hamburgo: Lewis Publishers.
- Francesconi, K., & Kuehnelt, D. (2001). *Environmental Chemistry of Arsenic*. California: William T. Frankenberger.

- Fu, Chen, Bi, He, Ren, Yan, . . . Xiang. (2011). *Occurrence of arsenic in brown rice and its relationship to soil properties from Hainan Island, China*. China.
- GAD DE ZARUMA, AME, & SENPLADES. (Agosto de 2018). *GAD Municipal Zaruma*. Obtenido de <https://www.zaruma.gob.ec/pdyot-2018-2021>
- Galán, E., & Romero, A. (2008). *Contaminación de Suelos por Metales Pesados*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- García, D., Lima, I., Ruiz, L., Santana, J., & Calderón, P. (2016). Agroecosystems with Probable Health Risks Due to Heavy Metal Contamination. *Revista Cubana de Química*. Obtenido de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2224-54212016000100004](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212016000100004)
- García, S. (2013). *Universidad Politecnica de Madrid*. Obtenido de [http://oa.upm.es/15311/1/SARA\\_GARCIA\\_SALGADO.pdf](http://oa.upm.es/15311/1/SARA_GARCIA_SALGADO.pdf)
- Gimferrer Morató, N. (18 de Octubre de 2010). *Consumer*. Obtenido de <https://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/efectos-del-arsenico-en-los-alimentos.html>
- Girouard, E., & Zagury, G. (2009). *Arsenic bioaccessibility in CCA-contaminated soils: Influence of soil properties, arsenic fractionation, and particle-size fraction*, (Vols. Volume 407, Issue 8). Science of The Total Environment.
- González, R. (28 de Febrero de 2018). *Universidad Técnica De Machala*. Obtenido de [http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/12414/3/DE00001\\_TRABAJODETITULACION.pdf](http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/12414/3/DE00001_TRABAJODETITULACION.pdf)
- Guambi, D., Velásquez, L., & Farfán, D. (2017). CALIDAD ORGANOLÉPTICA DE CAFÉS ARÁBIGOS EN RELACIÓN A LAS VARIETADES Y ALTITUDES DE LAS ZONAS DE CULTIVO, ECUADOR. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 67-77.
- Güizhagüiña, G. p. (2018). *GAD parroquial Güizhagüiña*. Obtenido de <http://guizhaguina.gob.ec/index.php/ct-menu-item-13/ct-menu-item-29>
- Heikens, A. (2006). *Arsenic contamination of irrigation water, soil and crops in bangladesh*. Bangkok: FAO.
- Hernández, G., Pico, Á., Álvarez, L., Aldaco, R., Fortis, M., & González, G. (2013). COMPORTAMIENTO DEL ARSÉNICO EN SUELOS DE LA REGIÓN LAGUNERA DE COAHUILA,. *TERRA LATINOAMERICANA*, 295-303. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/573/57329629004.pdf>
- Herrera, V., Carrasco, C., Sandoval, P., & Cortés, C. (24 de abril de 2019). *Scielo*. Obtenido de <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v83n1/a06v83n1.pdf>

- Hughes, M. (2002). Arsenic toxicity and potential mechanisms of action. *Toxicology Letters*, 1-16.
- ICO. (2012). *International Coffee Organization*. Obtenido de <http://www.ico.org/documents/cy2012-13/annual-review-2011-12c.pdf>
- Inès, A. (15 de enero de 2015). *Universidad de Murcia. Departamento de Química Agrícola, Geología y Edafología*. Obtenido de <https://www.tdx.cat/handle/10803/362915>
- INIAP. (2004). *Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias*. Obtenido de INIAP: <http://tecnologia.iniap.gob.ec/index.php/explore-2/mcafec/rcafea>
- Jacome, H., & Varela, M. (26 de Abril de 2012). *FLACSO*. Obtenido de <https://www.flacso.edu.ec/portal/pnTemp/PageMaster/dxagdqca2xnzrm5f88bjo1lbqsfpex.pdf>
- Jimenes Torres, A., & Massa Sanchez, P. (2016). Producción de café y variables climáticas: 22.
- Jiménez, A., & Massa, P. (2015). *Producción de café y variables climáticas: El caso de Espindola, Ecuador*. Venezuela: redalyc.org.
- Jiménez, A. (2018). *Diagnóstico de la presencia y contaminación por arsénico en el suelo y agua de consumo en la parroquia papallacta*. Quito.
- Jiménez, P. (27 de 09 de 2018). *ESCUELA POLITECNICA NACIONAL*. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19760>
- Jonnalagadda, S., & Rao, P. (1993). Toxicity, bioavailability and metal speciation. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Pharmacology, Toxicology and Endocrinology*, 585-595.
- Kim Gehle MD, M. (2009). *La Toxicidad del Arsenico*. EE.UU.
- Klevay, L. (1976). Pharmacology and toxicology of heavy metals: Arsenic. *Pharmacology & Therapeutics. Part A: Chemotherapy, Toxicology and Metabolic Inhibitors*, 189-210.
- Lesikar, B., Hallmark, C., Melton, R., & Harris, B. (2005). *On-Site Wastewater Treatment Systems: Soil Particle Analysis Procedure*,. Texas: Texas FARMER collection. Obtenido de <http://nctx-water.tamu.edu/media/1602/b-6175.pdf>
- Lilo, J. (11 de 2007). *ResearchGate*. Obtenido de Peligros geoquímicos: Arsénico de origen natural en las aguas: [https://www.researchgate.net/publication/266597632\\_Peligros\\_geoquimicos\\_Arsenico\\_de\\_origen\\_natural\\_en\\_las\\_aguas/stats](https://www.researchgate.net/publication/266597632_Peligros_geoquimicos_Arsenico_de_origen_natural_en_las_aguas/stats)

- Litter, M., Armienta, M., & Farías, S. (2009). *METODOLOGÍA ANALÍTICOS PARA LA DETERMINACIÓN Y ESPECIACIÓN DE ARSÉNICO EN AGUAS Y SUELOS*. Argentina: Ciencia y Tecnología para el Desarrollo.
- Loewenberg, S. (14 de 02 de 2017). *EL PAIS*. Obtenido de [https://elpais.com/elpais/2017/02/08/planeta\\_futuro/1486575516\\_170559.html](https://elpais.com/elpais/2017/02/08/planeta_futuro/1486575516_170559.html)
- Londoño, L. F., Londoño, P. T., & Muñoz, F. G. (2016). RISK OF HEAVY METALS IN HUMAN AND ANIMAL HEALTH. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 153.
- MAGAP. (2014). *MAGAP*. Obtenido de <https://www.agricultura.gob.ec/>
- Mahimairaja, S., Bolan, N., Adriano, D., & Robinson, B. (2005). Arsenic Contamination and its Risk Management in Complex Environmental Settings. *Advances in Agronomy*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/223833797\\_Arsenic\\_Contamination\\_and\\_its\\_Risk\\_Management\\_in\\_Complex\\_Environmental\\_Settings](https://www.researchgate.net/publication/223833797_Arsenic_Contamination_and_its_Risk_Management_in_Complex_Environmental_Settings)
- MALVAS, G. P. (2019). *GAD PARROQUIAL MALVAS* . Obtenido de <http://www.malvas.gob.ec/index.php/ct-menu-item-13/ct-menu-item-29>
- Mandal, B., & Suzuki KT. (08 de 2002). *National Center for Biotechnology Information*. Obtenido de Arsenic round the world: a review.: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18968746>
- Mandal, B., & Suzuki, K. (2002). Arsenic round the world: a review. *Talanta*, 201-235. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0039914002002680>
- Mandal, B., Ogra, Y., & Suzuki, K. (2001). Identification of Dimethylarsinous and Monomethylarsonous Acids in Human Urine of the Arsenic-Affected Areas in West Bengal, India. *Chemical Research in Toxicology*, 371-378.
- Martorell, J. (2010). *BIODISPONIBILIDAD DE METALES PESADOS EN DOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS DE LA COSTA SURATLÁNTICA ANDALUZA AFECTADOS POR CONTAMINACIÓN DIFUSA*. Andalucía: Universidad de Cádiz.
- Masindi, V., & Muedi, K. (27 de 06 de 2018). *Intechopen*. Obtenido de <https://www.intechopen.com/books/heavy-metals/environmental-contamination-by-heavy-metals>
- Medina, M., Robles, P., Mendoza, M., & Torres, C. (2018). *Peru Med Exp Salud Publica*, 35.
- Medina, M., Robles, P., Mendoza, M., & Torres, C. (2018). Arsenic Intake: Impact in Human Nutrition and Health. *Revista Peruana De Medicina Experimental Y Salud Publica*, 35.

- MERCOSUR. (17 de 07 de 2011). *MERCOSUR*. Obtenido de [http://www.puntofocal.gov.ar/doc/r\\_gmc\\_12-11.pdf](http://www.puntofocal.gov.ar/doc/r_gmc_12-11.pdf)
- Ministerio de Agricultura Ganadería Acuicultura y Pesca. (2018). *MAGAP*. Obtenido de Aumenta la productividad de café en El Oro: <https://www.agricultura.gob.ec/aumenta-la-productividad-de-cafe-en-el-oro/>
- Ministerio del Ambiente. (4 de 11 de 2015). *Acuerdo Ministerial 097-A*. Obtenido de [https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento\\_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015\\_0.pdf](https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015_0.pdf)
- Moreno, E. (04 de 03 de 2010). *Universidad Autónoma de Madrid*. Obtenido de [https://repositorio.uam.es/handle/31353\\_moreno\\_jimenez\\_eduardo](https://repositorio.uam.es/handle/31353_moreno_jimenez_eduardo)
- Moreno, E., Esteban, E., & Peñalosa, J. M. (1 de 01 de 2012). *National Center for Biotechnology Information*. Obtenido de The fate of arsenic in soil-plant systems.: <https://repositorio.uam.es/handle/10486/667702>
- Mudhoo, A., Sharma, S., Garg, V., & Tseng, C. (2011). Arsenic: An Overview of Applications, Health, and Environmental Concerns and Removal Processes. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 435-519.
- MULUNCAY, G. P. (2018). *GAD PARROQUIAL MULUNCAY*. Obtenido de <http://www.gadmuluncaygrande.com/datos.html>
- Munsell, A. H. (1907). *A Color Notation*.
- Muñoz, A. (2012). *Historia del veneno. De la cicuta al polonio*. Madrid: Debate.
- OMS. (15 de febrero de 2018). *Organizacion Mundial de la Salud*. Obtenido de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO. (2011). Comité del Codex sobre Contaminantes de los Alimentos. *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación*, 231.
- Oviedo, R., Moína, E., Naranjo, J., & Barcos, M. (2017). Contaminación por metales pesados en el sur del Ecuador asociada a la actividad minera. *Bionatura*, 441.
- Pérez, I. (06 de 2015). *Universidad Complutense Madrid*. Obtenido de ECOTOXICOLOGÍA DEL ARSÉNICO EN SUELOS DE LA COMUNIDAD DE MADRID: <https://eprints.ucm.es/48830/1/ISMAEL%20PEREZ%20MINGUEZ%20%281%29.pdf>
- Perú, M. (2014). *Guía para el Muestreo de Suelos*. Lima.

- Pizarro, J. C., Barrezueta, S., & Eveligh, P. (2016). ANÁLISIS DE CANALES DE COMERCIALIZACIÓN Y CONSUMO DE CAFÉ (COFFEA ARÁBICA) EN LA CIUDAD DE MACHALA, ECUADOR. *Caribeña de Ciencias Sociales*.
- PLAN NACIONAL DE DESARROLLO. (2017). *PLAN NACIONAL DE DESARROLLO*. Obtenido de [https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL\\_0K.compressed1.pdf](https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL_0K.compressed1.pdf)
- Polo, M. P. (2009). *Escuela Superior Politecnica de Chimborazo Facultad de Bioquímica y Farmacia*. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/202>
- Polo, M. P. (29 de 4 de 2010). *ESPOCH*. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/202>
- Ponce, L., Orellana, K., Acuña, I., Alfonso, J., & Fuentes, T. (2018). Situation of the Ecuadorian Coffee Industry: Perspectives. *Revista Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina*.
- Ramirez, M. (2010). *Análisis situacional de las fincas de café arábica y propuesta sustentable en la parroquia san roque del canton Piñas*. Loja: Universidad Nacional de Loja.
- Red de Seguridad Alimentaria del CONICET. (2018). *Arsénico en Agua*. Buenos Aires, Argentina.
- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz, M., & González, E. (2016). CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS: IMPLICACIONES EN SALUD, AMBIENTE Y SEGURIDAD ALIMENTARIA. *Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 12.
- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz, M., & González, E. (2016). Heavy metals contamination: implications for health and food safety. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 66-77.
- Salvador, E., Rainiero, J., & Yopez, K. (11 de 01 de 2017). *ESPE*. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/12612?show=full>
- Schoof, R. (08 de 1999). A market basket survey of inorganic arsenic in food. *Food and Chemical Toxicology*, 839-846. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278691599000733>
- Sharma, V., & Sohn, M. (2009). Aquatic arsenic: Toxicity, speciation, transformations, and remediation. *Environment International*, 743-759. Obtenido de <http://www.geol.agh.edu.pl/~mmanecki/zaszyfrowane/Sharma%20Sohn%20%20Aquatic%20arsenic%20toxicity%20speciation%202009%20Envir%20Inter.pdf>

- Smedley, P., & Kinniburgh, D. (2002). A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Applied Geochemistry*, 517-568. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0883292702000185>
- SNI. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*. Obtenido de [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdocumentofinal/0760000180001\\_PDYOT-PROVINCIA%20EL%20ORO-14-08-2015\\_14-08-2015\\_18-31-46.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/0760000180001_PDYOT-PROVINCIA%20EL%20ORO-14-08-2015_14-08-2015_18-31-46.pdf)
- US EPA. (2000). National Primary drinking water regulations, arsenic and clarification to compliance and new source contaminants monitoring, notice of proposed rulemaking. *Federal Register The Daily Journal of the United States Government* .
- Vásconez, M. (07 de 2012). *Universidad Central del Ecuador* . Obtenido de Facultad de Ciencias Químicas Carrera de Química de Alimentos : <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/1198/1/T-UCE-0008-05.pdf>
- Venegas, S., Orellana, D., & Pérez, P. (2018). La realidad Ecuatoriana en la producción de café. *Revista científica de la investigación y el conocimiento* , 72-91.
- Viñan, J. (04 de 2019). *Universidad de Guayaquil*. Obtenido de Facultad de Ciencias Naturales: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/39737/1/Tesis%20Vi%C3%B1an%202019.pdf>
- Viñan, J. (04 de 2019). *UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL*. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/39737/1/Tesis%20Vi%C3%B1an%202019.pdf>
- Walsh, L., Summer, M., & Keeney, D. (1997). Occurrence and Distribution of Arsenic in soils and plants. *Environmental Health Perspective*, 67-71.
- Wenzel, Q. (13 de 11 de 2002). Arsenic transformations in the soil–rhizosphere–plant system: fundamentals and potential application to phytoremediation. *Journal of Biotechnology*, 259-278. Obtenido de [https://doi.org/10.1016/S0168-1656\(02\)00218-3](https://doi.org/10.1016/S0168-1656(02)00218-3)
- WHO. (1989). TOXICOLOGICAL EVALUATION OF CERTAIN FOOD ADDITIVES AND CONTAMINANTS. *WORLD HEALTH ORGANIZATION*.
- Widland (Dirección). (2010). *Measuring Soil Moisture and Organic Content* [Película].
- Woolson, E. (1973). Arsenic Phytotoxicity and Uptake in Six Vegetable Crops. 524-527.

Zeas, K. (Agosto de 2010). *Universidad Tecnologica Equinoccial* . Obtenido de <http://repositorio.ute.edu.ec/xmlui/handle/123456789/11565?show=full>

Zhao, F., Ma, J., Meharg, A., & Mcgrath, S. (2009). Arsenic uptake and metabolism in plants. *The New phytologist*. Obtenido de <https://www.semanticscholar.org/paper/Arsenic-uptake-and-metabolism-in-plants.-Zhao-Ma/46fe347d93ebc0b93d9ac15db4630d2a55eec4d6>

# ANEXOS

## Anexo 1 Reconocimiento del área de estudio



## Anexo 2 Toma de muestras de café molido y suelo



## Anexo 3 Preparación de café en infusión



## Anexo 4 Análisis fisicoquímico de las muestras







# Anexo 7 Análisis de Arsénico a muestras de suelo de las parroquias Muluncay Chico, Guizhaguíña y Malvas del cantón Zaruma donde se cultivan las marcas (CA, CB Y CC) de café arábigo, realizado en el Laboratorio Analítica Avanzada – Asesoría y Laboratorios ANAVANLAB Cia. Ltda.

ANALÍTICA AVANZADA - ASESORÍA Y LABORATORIOS ANAVANLAB CIA. LTDA.		Hoja No. 00012	Hoja No. 00012		
<b>INFORME DE RESULTADOS No. 11917-1</b>					
<b>1. DATOS GENERALES</b>					
CATEGORÍA	ANÁLISIS DE SUELO	FECHA DE EMISIÓN	02 DE JUNIO 2024		
CANTON	ZARUMA	CLIENTE	LA COMPAÑIA		
<b>2. INFORMACIÓN DE LA MUESTRA</b>					
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	PARTE DEL SUELO	USO DEL SUELO	AGRICULTURA		
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	PARTE DEL SUELO	USO DEL SUELO	AGRICULTURA		
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	PARTE DEL SUELO	USO DEL SUELO	AGRICULTURA		
<b>3. RESULTADOS</b>					
AN	ANÁLISIS	METODO ANALITICO	UNIDADES	RESULTADO	PRECISIÓN (Rango %)
1	ARSÉNICO	ANÁLISIS DE SUELO POR AA	mg/kg	0,2	20

ANALÍTICA AVANZADA - ASESORÍA Y LABORATORIOS ANAVANLAB CIA. LTDA.		Hoja No. 00012	Hoja No. 00012		
<b>INFORME DE RESULTADOS No. 11917-2</b>					
<b>1. DATOS GENERALES</b>					
CATEGORÍA	ANÁLISIS DE SUELO	FECHA DE EMISIÓN	02 DE JUNIO 2024		
CANTON	ZARUMA	CLIENTE	LA COMPAÑIA		
<b>2. INFORMACIÓN DE LA MUESTRA</b>					
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	PARTE DEL SUELO	USO DEL SUELO	AGRICULTURA		
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	PARTE DEL SUELO	USO DEL SUELO	AGRICULTURA		
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	PARTE DEL SUELO	USO DEL SUELO	AGRICULTURA		
<b>3. RESULTADOS</b>					
AN	ANÁLISIS	METODO ANALITICO	UNIDADES	RESULTADO	PRECISIÓN (Rango %)
1	ARSÉNICO	ANÁLISIS DE SUELO POR AA	mg/kg	0,2	20

ANALÍTICA AVANZADA - ASESORÍA Y LABORATORIOS ANAVANLAB CIA. LTDA.		Hoja No. 00012	Hoja No. 00012		
<b>INFORME DE RESULTADOS No. 11917-3</b>					
<b>1. DATOS GENERALES</b>					
CATEGORÍA	ANÁLISIS DE SUELO	FECHA DE EMISIÓN	02 DE JUNIO 2024		
CANTON	ZARUMA	CLIENTE	LA COMPAÑIA		
<b>2. INFORMACIÓN DE LA MUESTRA</b>					
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	PARTE DEL SUELO	USO DEL SUELO	AGRICULTURA		
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	PARTE DEL SUELO	USO DEL SUELO	AGRICULTURA		
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	PARTE DEL SUELO	USO DEL SUELO	AGRICULTURA		
<b>3. RESULTADOS</b>					
AN	ANÁLISIS	METODO ANALITICO	UNIDADES	RESULTADO	PRECISIÓN (Rango %)
1	ARSÉNICO	ANÁLISIS DE SUELO POR AA	mg/kg	0,2	20

ANALÍTICA AVANZADA - ASESORÍA Y LABORATORIOS ANAVANLAB CIA. LTDA.		Hoja No. 00012	Hoja No. 00012		
<b>INFORME DE RESULTADOS No. 11917-4</b>					
<b>1. DATOS GENERALES</b>					
CATEGORÍA	ANÁLISIS DE SUELO	FECHA DE EMISIÓN	02 DE JUNIO 2024		
CANTON	ZARUMA	CLIENTE	LA COMPAÑIA		
<b>2. INFORMACIÓN DE LA MUESTRA</b>					
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	PARTE DEL SUELO	USO DEL SUELO	AGRICULTURA		
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	PARTE DEL SUELO	USO DEL SUELO	AGRICULTURA		
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	PARTE DEL SUELO	USO DEL SUELO	AGRICULTURA		
<b>3. RESULTADOS</b>					
AN	ANÁLISIS	METODO ANALITICO	UNIDADES	RESULTADO	PRECISIÓN (Rango %)
1	ARSÉNICO	ANÁLISIS DE SUELO POR AA	mg/kg	0,2	20

ANALÍTICA AVANZADA - ASESORÍA Y LABORATORIOS ANAVANLAB CIA. LTDA.		Hoja No. 00012	Hoja No. 00012		
<b>INFORME DE RESULTADOS No. 11917-5</b>					
<b>1. DATOS GENERALES</b>					
CATEGORÍA	ANÁLISIS DE SUELO	FECHA DE EMISIÓN	02 DE JUNIO 2024		
CANTON	ZARUMA	CLIENTE	LA COMPAÑIA		
<b>2. INFORMACIÓN DE LA MUESTRA</b>					
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	PARTE DEL SUELO	USO DEL SUELO	AGRICULTURA		
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	PARTE DEL SUELO	USO DEL SUELO	AGRICULTURA		
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	PARTE DEL SUELO	USO DEL SUELO	AGRICULTURA		
<b>3. RESULTADOS</b>					
AN	ANÁLISIS	METODO ANALITICO	UNIDADES	RESULTADO	PRECISIÓN (Rango %)
1	ARSÉNICO	ANÁLISIS DE SUELO POR AA	mg/kg	0,2	20

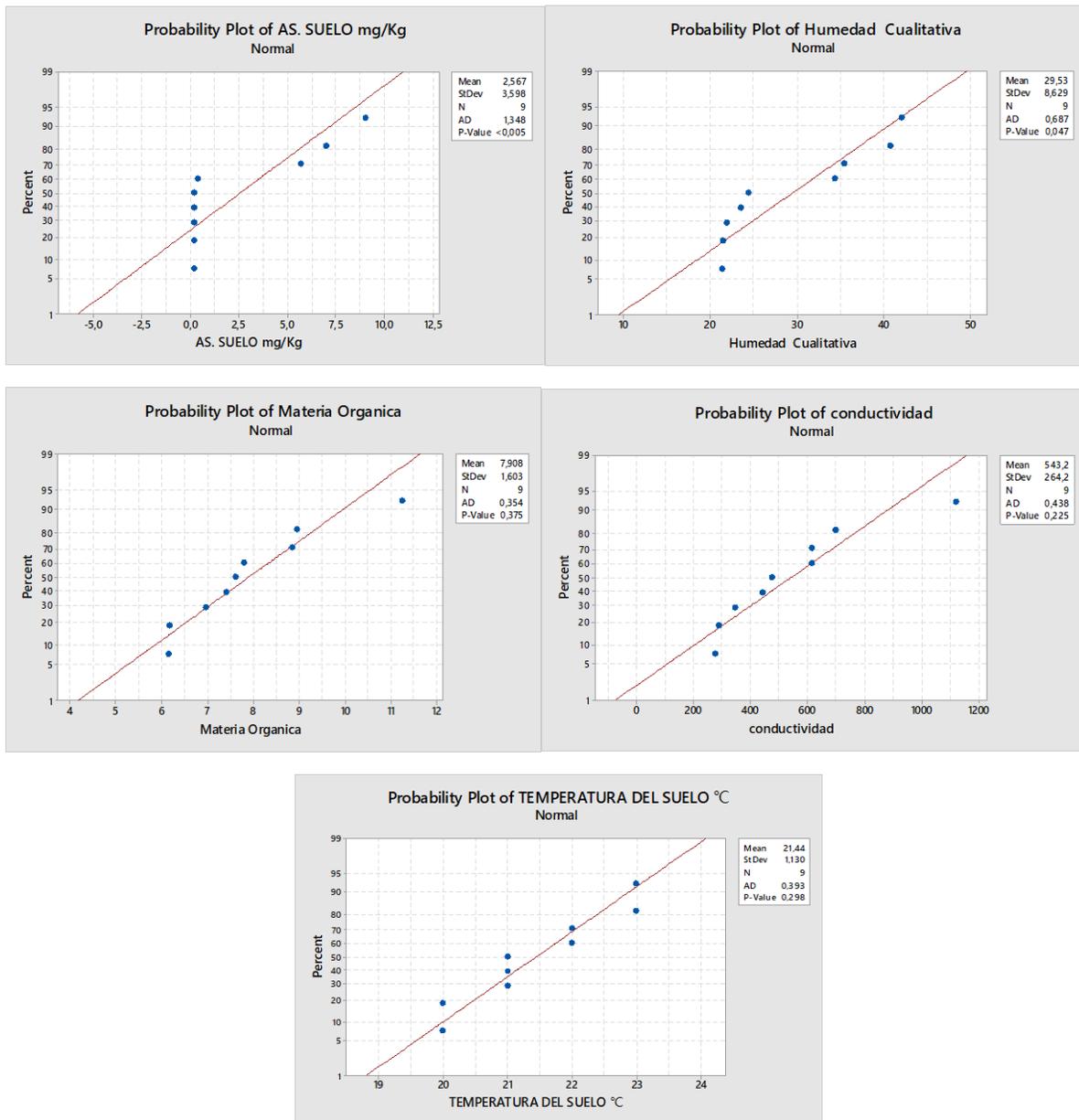
ANALÍTICA AVANZADA - ASESORÍA Y LABORATORIOS ANAVANLAB CIA. LTDA.		Hoja No. 00012	Hoja No. 00012		
<b>INFORME DE RESULTADOS No. 11917-6</b>					
<b>1. DATOS GENERALES</b>					
CATEGORÍA	ANÁLISIS DE SUELO	FECHA DE EMISIÓN	02 DE JUNIO 2024		
CANTON	ZARUMA	CLIENTE	LA COMPAÑIA		
<b>2. INFORMACIÓN DE LA MUESTRA</b>					
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	PARTE DEL SUELO	USO DEL SUELO	AGRICULTURA		
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	PARTE DEL SUELO	USO DEL SUELO	AGRICULTURA		
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	PARTE DEL SUELO	USO DEL SUELO	AGRICULTURA		
<b>3. RESULTADOS</b>					
AN	ANÁLISIS	METODO ANALITICO	UNIDADES	RESULTADO	PRECISIÓN (Rango %)
1	ARSÉNICO	ANÁLISIS DE SUELO POR AA	mg/kg	0,2	20

ANALÍTICA AVANZADA - ASESORÍA Y LABORATORIOS ANAVANLAB CIA. LTDA.		Hoja No. 00012	Hoja No. 00012		
<b>INFORME DE RESULTADOS No. 11917-7</b>					
<b>1. DATOS GENERALES</b>					
CATEGORÍA	ANÁLISIS DE SUELO	FECHA DE EMISIÓN	02 DE JUNIO 2024		
CANTON	ZARUMA	CLIENTE	LA COMPAÑIA		
<b>2. INFORMACIÓN DE LA MUESTRA</b>					
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	PARTE DEL SUELO	USO DEL SUELO	AGRICULTURA		
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	PARTE DEL SUELO	USO DEL SUELO	AGRICULTURA		
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	PARTE DEL SUELO	USO DEL SUELO	AGRICULTURA		
<b>3. RESULTADOS</b>					
AN	ANÁLISIS	METODO ANALITICO	UNIDADES	RESULTADO	PRECISIÓN (Rango %)
1	ARSÉNICO	ANÁLISIS DE SUELO POR AA	mg/kg	0,2	20

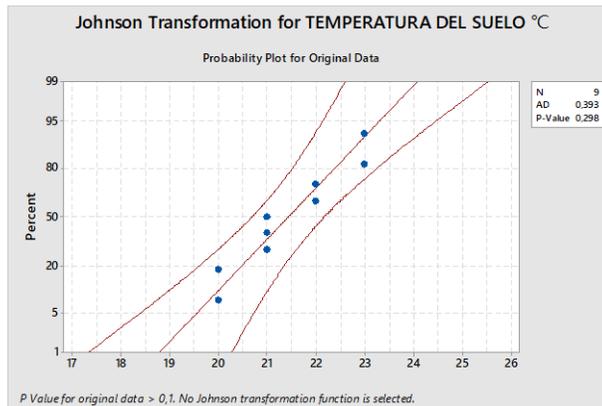
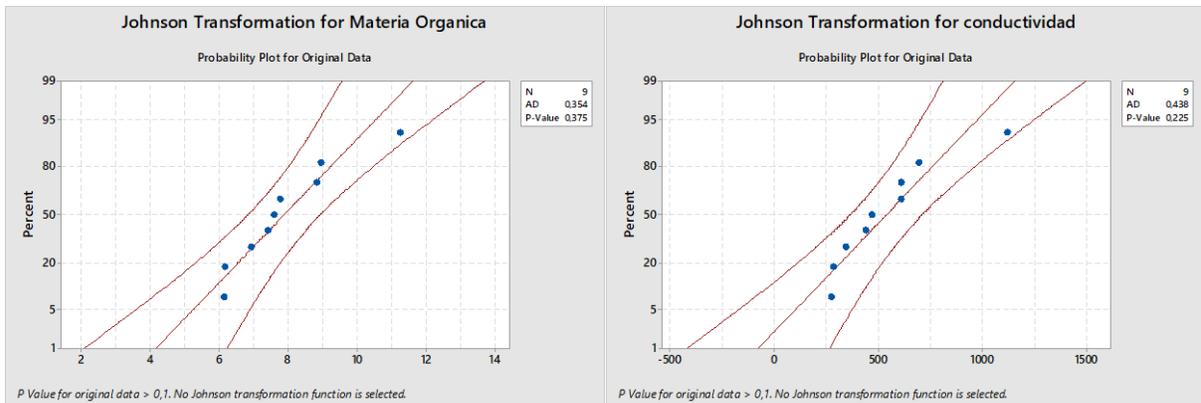
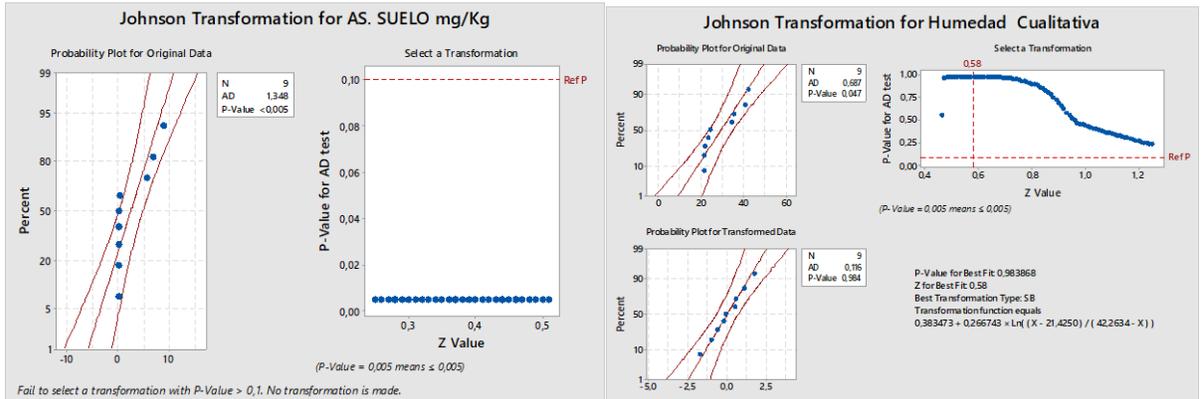
ANALÍTICA AVANZADA - ASESORÍA Y LABORATORIOS ANAVANLAB CIA. LTDA.		Hoja No. 00012	Hoja No. 00012		
<b>INFORME DE RESULTADOS No. 11917-8</b>					
<b>1. DATOS GENERALES</b>					
CATEGORÍA	ANÁLISIS DE SUELO	FECHA DE EMISIÓN	02 DE JUNIO 2024		
CANTON	ZARUMA	CLIENTE	LA COMPAÑIA		
<b>2. INFORMACIÓN DE LA MUESTRA</b>					
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	PARTE DEL SUELO	USO DEL SUELO	AGRICULTURA		
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	PARTE DEL SUELO	USO DEL SUELO	AGRICULTURA		
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	PARTE DEL SUELO	USO DEL SUELO	AGRICULTURA		
<b>3. RESULTADOS</b>					
AN	ANÁLISIS	METODO ANALITICO	UNIDADES	RESULTADO	PRECISIÓN (Rango %)
1	ARSÉNICO	ANÁLISIS DE SUELO POR AA	mg/kg	0,2	20

ANALÍTICA AVANZADA - ASESORÍA Y LABORATORIOS ANAVANLAB CIA. LTDA.		Hoja No. 00012	Hoja No. 00012		
<b>INFORME DE RESULTADOS No. 11917-9</b>					
<b>1. DATOS GENERALES</b>					
CATEGORÍA	ANÁLISIS DE SUELO	FECHA DE EMISIÓN	02 DE JUNIO 2024		
CANTON	ZARUMA	CLIENTE	LA COMPAÑIA		
<b>2. INFORMACIÓN DE LA MUESTRA</b>					
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	PARTE DEL SUELO	USO DEL SUELO	AGRICULTURA		
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	PARTE DEL SUELO	USO DEL SUELO	AGRICULTURA		
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	PARTE DEL SUELO	USO DEL SUELO	AGRICULTURA		
<b>3. RESULTADOS</b>					
AN	ANÁLISIS	METODO ANALITICO	UNIDADES	RESULTADO	PRECISIÓN (Rango %)
1	ARSÉNICO	ANÁLISIS DE SUELO POR AA	mg/kg	0,2	20

## Anexo 8 Pruebas de normalidad con el software estadístico Minitab versión 17.0.



# Anexo 9 Transformación de Jonhson con el software estadístico Minitab versión 17.0.



## Anexo 10 Aplicación de prueba de Tukey con el software estadístico Minitab versión 17.0.

