



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA BIOQUÍMICA Y FARMACIA**

**EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES  
PESADOS EN LA ALIMENTACIÓN PRIMARIA DE GANADO  
BOVINO EN ZONAS DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO  
AFECTADAS POR LA CENIZA DEL VOLCÁN TUNGURAHUA Y  
ESTUDIO DE SU IMPACTO EN LA CADENA TRÓFICA**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Trabajo Experimental

Presentado para optar al grado académico de:

**BIOQUÍMICO/A FARMACÉUTICO/A**

**AUTORES:**

**ALEJANDRO PATRICIO GALARRAGA MACÍAS**

**ERIKA PAMELA MANCERO NIETO**

Riobamba – Ecuador

2023



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CARRERA BIOQUÍMICA Y FARMACIA**

**EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES  
PESADOS EN LA ALIMENTACIÓN PRIMARIA DE GANADO  
BOVINO EN ZONAS DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO  
AFECTADAS POR LA CENIZA DEL VOLCÁN TUNGURAHUA Y  
ESTUDIO DE SU IMPACTO EN LA CADENA TRÓFICA**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Trabajo Experimental

Presentado para optar al grado académico de:

**BIOQUÍMICO/A FARMACÉUTICO/A**

**AUTORES: ALEJANDRO PATRICIO GALARRAGA MACÍAS**

**ERIKA PAMELA MANCERO NIETO**

**DIRECTORA: DRA. IRENE DEL CARMEN GAVILANES TERÁN PhD.**

Riobamba – Ecuador

2023

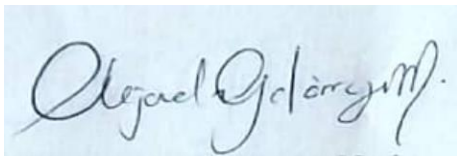
**©2022, Alejandro Patricio Galarraga Macías & Erika Pamela Mancero Nieto**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

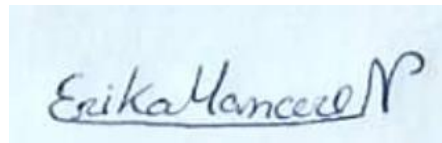
Nosotros, ALEJANDRO PATRICIO GALARRAGA MACÍAS & ERIKA MANCERO NIETO, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 10 de Enero de 2023.




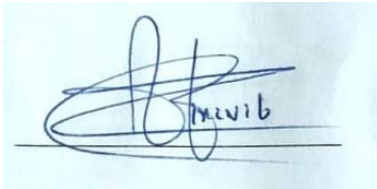
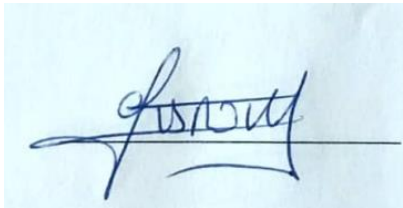
**Alejandro Patricio Galarraga Macías**  
**C.I: 2300469240**



**Erika Pamela Mancero Nieto**  
**C.I: 0604178772**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA BIOQUÍMICA Y FARMACIA**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo Trabajo Experimental, **EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN LA ALIMENTACIÓN PRIMARIA DE GANADO BOVINO EN ZONAS DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO AFECTADAS POR LA CENIZA DEL VOLCÁN TUNGURAHUA Y ESTUDIO DE SU IMPACTO EN LA CADENA TRÓFICA**, realizado por los señores: **ALEJANDRO PATRICIO GALARRAGA MACÍAS** y **ERIKA PAMELA MANCERO NIETO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
BQF. Adriana Isabel Rodríguez Basantes MSc. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		23 – 01 – 10
Dra. Irene del Carmen Gavilanes Terán PhD <b>DIRECTORA DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		23 – 01 – 10
Dr. Julio Cesar Idrovo Novillo PhD. <b>ASESOR DEL TRIBUNAL</b>		23 – 01 – 10

## **DEDICATORIA**

A quienes guiaron mis primeros pasos y me dieron el impulso para seguir caminando. A los que fueron paz y luz. A los que siempre seguirán siendo.

A mis tres estrellas, las más brillantes en el cielo. Para ustedes.

Alejandro

El presente trabajo se lo dedicó en primer lugar a Dios, quien fue mi mayor fortaleza durante todo mi transcurso académico y personal, a mis padres que me apoyaron siempre para que mi meta se cumpla y también a mis abuelitos maternos que desde pequeña cuidaron de mí y me ayudaron a llegar muy lejos enfrentando cada obstáculo que se me presentó en el camino, sobre todo mi abuelito materno ELEN NIETO quien es mi mejor amigo y me convirtió en la persona que soy hoy en día, pues él forjó mi carácter con sus consejos. También a mis amigos que fueron quienes siempre me impulsaron a continuar luchando cada día.

Erika

## **AGRADECIMIENTO**

A mis abuelos y padres. A mi hermana de otra madre, María Gabriela. A mis amigos, Gabriela, Andrea, Mirian. A mi persona especial, Byron. A mis profesores. A mi yo del pasado, que nunca se dio por vencido. A todos quienes formaron parte del proceso en alguna de sus etapas.

A todos ustedes, infinitas gracias.

Alejandro

Principalmente agradecida con Dios por guiarme siempre en este largo transcurso de mi vida profesional y personal, quiero agradecer a mis padres por su apoyo y abuelitos maternos por siempre enseñarme a ser fuerte para enfrentar la vida y apoyarme en cada una de mis decisiones. También agradezco a mis demás amigos y familiares que estuvieron ahí para levantarme en cada caída, así pues, también quiero agradecer a cada uno de mis profesores de la carrera de Bioquímica y Farmacia por el conocimiento impartido que me ayudo a culminar con éxito esta etapa y que en mi vida profesional me será de gran ayuda. Por último, pero no menos importante a la Doc. Irene Gavilanes y al grupo GAIBAQ por permitirme ser parte de su grupo de investigación para ser mi guía fundamental en este proceso de titulación, gracias por la confianza depositada en mí.

Erika

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvii
RESUMEN.....	xix
ABSTRACT.....	xx
INTRODUCCIÓN.....	1

### CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Antecedentes.....	2
1.1.1. <i>Contaminación por metales pesados y seguridad alimentaria</i> .....	2
1.2. Planteamiento del problema.....	3
1.3. Justificación.....	4
1.4. Objetivos.....	5
1.4.1. <i>Objetivo general</i> .....	5
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	6

### CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Antecedentes de la investigación.....	7
2.2. Referencias teóricas.....	8
2.2.1. <i>Volcán Tungurahua</i> .....	8
2.2.2. <i>Actividad eruptiva del Volcán Tungurahua</i> .....	8
2.2.2.1. <i>Composición química de la ceniza</i> .....	9
2.2.2.2. <i>Efectos sobre la salud</i> .....	9
2.2.3. <i>Metales pesados</i> .....	10
2.2.3.1. <i>Cadmio (Cd)</i> .....	10
2.2.3.2. <i>Arsénico (As)</i> .....	10
2.2.3.3. <i>Plomo (Pb)</i> .....	11
2.2.3.4. <i>Mercurio (Hg)</i> .....	11
2.2.3.5. <i>Selenio (Se)</i> .....	11
2.2.4. <i>Métodos de determinación de metales pesados</i> .....	12



2.2.4.1.	<i>Espectrometría de absorción atómica</i> .....	12
2.2.4.2.	<i>Espectrometría de plasma de acoplamiento inductivo</i> .....	12
2.2.4.3.	<i>Técnicas fotométricas</i> .....	12
2.2.4.4.	<i>Técnicas electroquímicas</i> .....	13
2.2.5.	<b><i>Contaminación por metales pesados</i></b> .....	13
2.2.5.1.	<i>Efectos sobre suelos agrícolas</i> .....	13
2.2.5.2.	<i>Efectos sobre la cadena trófica</i> .....	14
2.2.5.3.	<i>Efectos sobre la salud</i> .....	14
2.2.6.	<b><i>Actividad agrícola y pecuaria en Chimborazo</i></b> .....	16
2.2.6.1.	<i>Cantón Guamote</i> .....	16
2.2.6.2.	<i>Cantón Guano</i> .....	18
2.2.6.3.	<i>Producción forrajera en cantones de la provincia</i> .....	19
2.2.7.	<b><i>Factores de Bioacumulación de metales pesados</i></b> .....	20
2.2.7.1.	<i>Factor de bioconcentración BCF</i> .....	21
2.2.7.2.	<i>Factor de biotransferencia BTF</i> .....	21
2.2.7.3.	<i>Factor de translocación TF</i> .....	21
2.2.8.	<b><i>Evaluación de riesgos para la salud</i></b> .....	22
2.2.8.1.	<i>Coficiente de peligro objetivo</i> .....	22
2.2.8.2.	<i>Ingesta diaria recomendada</i> .....	22
2.2.8.3.	<i>Índice de peligro objetivo</i> .....	23
2.2.9.	<b><i>Normativa EPA (Agencia de Protección Ambiental de EEUU)</i></b> .....	23
2.2.9.1.	<i>Límites máximos permitidos de metales pesados</i> .....	23
2.2.10.	<b><i>Seguridad alimentaria</i></b> .....	24
2.2.10.1.	<i>Seguridad alimentaria en Ecuador</i> .....	24
2.2.11.	<b><i>Sostenibilidad ambiental</i></b> .....	25
2.2.12.	<b><i>Bases legales</i></b> .....	25

### **CAPÍTULO III**

3.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	26
3.1.	<b>Materiales, equipos y reactivos</b> .....	26
3.1.1.	<b><i>Equipos</i></b> .....	26
3.1.2.	<b><i>Materiales</i></b> .....	26
3.1.3.	<b><i>Reactivos</i></b> .....	27
3.2.	<b>Metodología</b> .....	28
3.3.	<b>Análisis de datos</b> .....	29
3.4.	<b>Diseño experimental del muestreo</b> .....	29

<b>3.5.</b>	<b>Localización del estudio</b> .....	30
<b>3.5.1.</b>	<b><i>Cantón Guamote</i></b> .....	30
<b>3.5.1.1.</b>	<b><i>Generalidades</i></b> .....	30
<b>3.5.2.</b>	<b><i>Cantón Guano</i></b> .....	31
<b>3.5.2.1.</b>	<b><i>Generalidades</i></b> .....	31
<b>3.6.</b>	<b>Muestreo</b> .....	32
<b>3.6.1.</b>	<b><i>Método de muestreo</i></b> .....	33
<b>3.6.2.</b>	<b><i>Aplicación de encuestas</i></b> .....	36
<b>3.6.3.</b>	<b><i>Preparación de las muestras</i></b> .....	36
<b>3.6.4.</b>	<b><i>Secado de las muestras</i></b> .....	36
<b>3.6.5.</b>	<b><i>Triturado de las muestras</i></b> .....	37
<b>3.7.</b>	<b>Análisis físico químico del suelo</b> .....	37
<b>3.7.1.</b>	<b><i>Determinación de materia orgánica</i></b> .....	37
<b>3.7.2.</b>	<b><i>Determinación de pH</i></b> .....	38
<b>3.7.3.</b>	<b><i>Determinación de conductividad eléctrica</i></b> .....	39
<b>3.7.4.</b>	<b><i>Determinación de Densidad Real</i></b> .....	40
<b>3.7.5.</b>	<b><i>Determinación de Densidad Aparente</i></b> .....	40
<b>3.7.6.</b>	<b><i>Determinación de textura</i></b> .....	40
<b>3.7.7.</b>	<b><i>Determinación de aniones</i></b> .....	41
<b>3.7.7.1.</b>	<b><i>Fosfatos</i></b> .....	42
<b>3.7.7.2.</b>	<b><i>Nitratos</i></b> .....	42
<b>3.7.7.3.</b>	<b><i>Sulfatos</i></b> .....	42
<b>3.7.7.4.</b>	<b><i>Cloruros</i></b> .....	42
<b>3.7.8.</b>	<b><i>Digestión ácida para determinación de minerales y metales pesados</i></b> .....	43
<b>3.7.9.</b>	<b><i>Determinación de macronutrientes</i></b> .....	44
<b>3.7.9.1.</b>	<b><i>Potasio (K)</i></b> .....	44
<b>3.7.9.2.</b>	<b><i>Sodio (Na)</i></b> .....	44
<b>3.7.9.3.</b>	<b><i>Fósforo (P)</i></b> .....	45
<b>3.7.10.</b>	<b><i>Determinación de metales pesados</i></b> .....	45
<b>3.7.10.1.</b>	<b><i>Arsénico (As)</i></b> .....	45
<b>3.7.10.2.</b>	<b><i>Selenio (Se)</i></b> .....	46
<b>3.7.10.3.</b>	<b><i>Plomo (Pb)</i></b> .....	46
<b>3.7.10.4.</b>	<b><i>Cadmio (Cd)</i></b> .....	46
<b>3.7.10.5.</b>	<b><i>Mercurio (Hg)</i></b> .....	47
<b>3.7.11.</b>	<b><i>Determinación de micronutrientes</i></b> .....	47
<b>3.7.11.1.</b>	<b><i>Hierro (Fe)</i></b> .....	47
<b>3.7.11.2.</b>	<b><i>Cobre (Cu)</i></b> .....	48

3.7.11.3.	<i>Zinc (Zn)</i> .....	48
3.7.11.4.	<i>Manganeso (Mn)</i> .....	48
3.7.12.	<i>Determinación de carbono orgánico</i> .....	49
3.7.13.	<i>Determinación de nitrógeno</i> .....	49
3.7.14.	<i>Relación carbono – nitrógeno</i> .....	50
3.8.	<b>Análisis físico químico de muestras vegetales de alimentos</b> .....	50
3.8.1.	<i>Determinación de materia orgánica</i> .....	50
3.8.2.	<i>Determinación de pH</i> .....	50
3.8.3.	<i>Determinación de conductividad eléctrica</i> .....	51
3.9.	<b>Análisis de nutrientes de muestras vegetales</b> .....	51
3.9.1.	<i>Digestión ácida para determinación de minerales y metales pesados</i> .....	51
3.9.2.	<i>Determinación de macronutrientes</i> .....	52
3.9.2.1.	<i>Potasio (K)</i> .....	52
3.9.2.2.	<i>Sodio (Na)</i> .....	52
3.9.2.3.	<i>Fósforo (P)</i> .....	53
3.9.3.	<i>Determinación de metales pesados</i> .....	53
3.9.3.1.	<i>Arsénico (As)</i> .....	53
3.9.3.2.	<i>Selenio (Se)</i> .....	54
3.9.3.3.	<i>Plomo (Pb)</i> .....	54
3.9.3.4.	<i>Cadmio (Cd)</i> .....	55
3.9.3.5.	<i>Mercurio (Hg)</i> .....	55
3.9.4.	<i>Determinación de micronutrientes</i> .....	55
3.9.4.1.	<i>Hierro (Fe)</i> .....	55
3.9.4.2.	<i>Cobre (Cu)</i> .....	56
3.9.4.3.	<i>Zinc (Zn)</i> .....	56
3.9.4.4.	<i>Manganeso (Mn)</i> .....	56
3.9.5.	<i>Determinación de carbono orgánico</i> .....	57
3.9.6.	<i>Determinación de nitrógeno</i> .....	57
3.9.7.	<i>Relación carbono – nitrógeno</i> .....	58
3.10.	<b>Factores de bioacumulación</b> .....	58
3.11.	<b>Factores de riesgo para el consumidor</b> .....	58

## CAPÍTULO IV

4.	<b>MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	60
4.1.	<b>Resultados de las encuestas</b> .....	60
4.1.1.	<i>Sector Agrícola</i> .....	60

4.1.1.1.	<i>Factor socioeconómico</i> .....	60
4.1.1.2.	<i>Fertilizantes o abonos</i> .....	65
4.1.1.3.	<i>Pesticidas</i> .....	66
4.1.1.4.	<i>Residuos agrícolas</i> .....	67
4.1.1.5.	<i>Riego del cultivo</i> .....	70
4.1.2.	<b>Sector Ganadero</b> .....	72
4.1.2.1.	<i>Factor socioeconómico</i> .....	72
4.1.2.2.	<i>Sector lechero</i> .....	76
4.1.2.3.	<i>Residuos del sector ganadero</i> .....	77
4.1.2.4.	<i>Pesticidas</i> .....	80
4.1.2.5.	<i>Producción lechera</i> .....	82
4.2.	<b>Análisis fisicoquímico del suelo</b> .....	83
4.2.1.	<i>pH</i> .....	85
4.2.2.	<i>Conductividad eléctrica</i> .....	85
4.2.3.	<i>Materia orgánica</i> .....	85
4.2.4.	<i>Densidad real</i> .....	86
4.2.5.	<i>Densidad aparente</i> .....	86
4.2.6.	<i>Textura</i> .....	86
4.2.7.	<i>Análisis de macronutrientes</i> .....	87
4.2.7.1.	<i>Sodio</i> .....	88
4.2.7.2.	<i>Potasio</i> .....	88
4.2.7.3.	<i>Fósforo</i> .....	88
4.2.8.	<i>Análisis de micronutrientes</i> .....	88
4.2.8.1.	<i>Hierro</i> .....	89
4.2.8.2.	<i>Cobre</i> .....	89
4.2.8.3.	<i>Manganeso</i> .....	89
4.2.8.4.	<i>Zinc</i> .....	89
4.2.9.	<i>Análisis carbono, nitrógeno y relación C/N</i> .....	90
4.2.9.1.	<i>Carbono y nitrógeno</i> .....	90
4.2.10.	<i>Análisis de aniones</i> .....	91
4.2.10.1.	<i>Sulfatos</i> .....	91
4.2.10.2.	<i>Fosfatos</i> .....	91
4.2.10.3.	<i>Nitratos</i> .....	92
4.2.10.4.	<i>Cloruros</i> .....	92
4.3.	<b>Resultados del análisis fisicoquímico del material vegetal</b> .....	92
4.3.1.	<i>pH</i> .....	93
4.3.2.	<i>Conductividad eléctrica</i> .....	94

4.3.3.	<i>Materia orgánica</i> .....	94
4.3.4.	<i>Macronutrientes</i> .....	95
4.3.4.1.	<i>Sodio</i> .....	95
4.3.4.2.	<i>Potasio</i> .....	96
4.3.4.3.	<i>Fósforo</i> .....	96
4.3.5.	<i>Micronutrientes</i> .....	97
4.3.5.1.	<i>Hierro</i> .....	97
4.3.5.2.	<i>Cobre</i> .....	98
4.3.5.3.	<i>Manganeso</i> .....	98
4.3.5.4.	<i>Zinc</i> .....	98
4.3.6.	<i>Análisis carbono, nitrógeno y relación C/N</i> .....	99
4.3.6.1.	<i>Carbono y nitrógeno</i> .....	99
4.3.6.2.	<i>Relación carbono – nitrógeno</i> .....	100
4.3.7.	<i>Análisis de aniones</i> .....	101
4.3.7.1.	<i>Cloruros</i> .....	101
4.4.	<b>Análisis de metales pesados</b> .....	101
4.4.1.	<i>Metales pesados en suelos</i> .....	101
4.4.1.1.	<i>Cadmio y plomo</i> .....	102
4.4.1.2.	<i>Mercurio</i> .....	102
4.4.1.3.	<i>Arsénico y Selenio</i> .....	103
4.4.2.	<i>Metales pesados en material vegetal</i> .....	104
4.4.2.1.	<i>Metales pesados en la raíz</i> .....	104
4.4.2.2.	<i>Metales pesados en la parte aérea</i> .....	106
4.4.2.3.	<i>Metales pesados en alimentos</i> .....	107
4.5.	<b>Análisis de correlación de resultados entre suelos y biomasa</b> .....	109
4.5.1.	<i>Propiedades físico – químicas</i> .....	109
4.5.2.	<i>Contenido de macronutrientes</i> .....	110
4.5.3.	<i>Contenido de micronutrientes</i> .....	110
4.5.4.	<i>Contenido de carbono, nitrógeno, cloruros y relación C/N</i> .....	111
4.6.	<b>Factores de bioacumulación</b> .....	112
4.6.1.	<i>Plomo</i> .....	112
4.6.1.1.	<i>Factor de Biocentración (BCF)</i> .....	113
4.6.1.2.	<i>Factor de Traslocación (TF)</i> .....	113
4.6.1.3.	<i>Factor de Biotransferencia (BTF)</i> .....	113
4.7.	<b>Factor de riesgo para el consumidor</b> .....	114
4.7.1.	<i>Coficiente de Peligro Objetivo (THQ)</i> .....	115
4.7.2.	<i>Ingesta Diaria Estimada (EDI)</i> .....	115

<b>4.7.3. Índice de Peligro (HI)</b> .....	116
<b>CONCLUSIONES</b> .....	117
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	119
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b>	Efectos crónicos en la salud por exposición de As, Cd, Cr, Pb, Se y Hg. ....	15
<b>Tabla 2-2:</b>	Productos agrícolas cultivados en el cantón Guamote .....	16
<b>Tabla 3-2:</b>	Actividad pecuaria en el cantón Guamote .....	17
<b>Tabla 4-2:</b>	Productos agrícolas cultivados en el cantón Guano .....	18
<b>Tabla 1-3:</b>	Coordenadas de los puntos de muestreo .....	35
<b>Tabla 1-4:</b>	Codificación de muestras y coordenadas geográficas de las zonas en estudio....	83
<b>Tabla 2-4:</b>	Resultados de porcentaje de materia orgánica (%MO), pH, conductividad eléctrica (CE), densidad real y densidad aparente de muestras de suelo (MS).....	84
<b>Tabla 3-4:</b>	Resultados de textura de muestras de suelo (MS).....	86
<b>Tabla 4-4:</b>	Resultados de sodio, potasio y fósforo de muestras de suelo (MS).....	87
<b>Tabla 5-4:</b>	Resultados de manganeso, hierro, cobre y zinc de muestras de suelo (MS).....	88
<b>Tabla 6-4:</b>	Resultados de carbono, nitrógeno y relación C/N de muestras de suelo (MS)....	90
<b>Tabla 7-4:</b>	Resultados de cloruros (Cl <sup>-</sup> ), nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ), sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> ) y fosfatos (PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> ) de muestras de suelo (MS).....	91
<b>Tabla 8-4:</b>	Codificación de muestras y coordenadas geográficas de las zonas en estudio....	92
<b>Tabla 9-4:</b>	Resultados de materia orgánica (MO), pH y conductividad eléctrica (CE) de muestras de material vegetal (MB).....	93
<b>Tabla 10-4:</b>	Resultados de macronutrientes fósforo (P), sodio (Na) y potasio (K) de muestras de material vegetal (MB).....	95
<b>Tabla 11-4:</b>	Resultados de micronutrientes manganeso (Mn), zinc (Zn), hierro (Fe) y cobre (Cu) de muestras de material vegetal (MB).....	97
<b>Tabla 12-4:</b>	Resultados de carbono orgánico (Corg), nitrógeno total (NT) y relación carbono – nitrógeno (C/N) de muestras de material vegetal.....	99
<b>Tabla 13-4:</b>	Metales pesados cuantificados en muestras de suelo (MS).....	101
<b>Tabla 14-4:</b>	Codificación de muestras y coordenadas geográficas de las zonas en estudio..	104
<b>Tabla 15-4:</b>	Metales pesados cuantificados en muestras de raíces (MR).....	104
<b>Tabla 16-4:</b>	Metales pesados cuantificados en muestras hojas y tallos (MB).....	106
<b>Tabla 17-4:</b>	Codificación de muestras y coordenadas geográficas de las zonas en estudio..	107
<b>Tabla 18-4:</b>	Metales pesados cuantificados en muestra de alimentos (MA).....	107
<b>Tabla 19-4:</b>	Análisis de correlación de materia orgánica, pH y conductividad eléctrica para suelos y biomasa (MSB).....	109
<b>Tabla 20-4:</b>	Análisis de correlación de potasio, sodio y fósforo para suelos y biomasa (MSB).....	110

<b>Tabla 21-4:</b>	Análisis de correlación de manganeso, hierro, cobre y zinc para muestras de suelos y biomasa (MSB).....	110
<b>Tabla 22-4:</b>	Análisis de correlación de carbono, nitrógeno, relación C/N y cloruros para muestras de suelos y biomasa (MSB).....	111
<b>Tabla 23-4:</b>	Factores de bioacumulación BCF, TF y BFT para el plomo en todas las zonas de muestreo (MZ).....	112
<b>Tabla 24-4:</b>	Valores para el cálculo de los factores de riesgo para el consumidor. ....	114
<b>Tabla 25-4:</b>	Factores de riesgo para el consumidor .....	114



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1-2:</b>	Dinámica del contenido de macro y micronutrientes en forrajes según la estación del año.....	20
<b>Ilustración 1-3:</b>	Realización de encuestas iniciales.....	28
<b>Ilustración 2-3:</b>	Mapa político del cantón Guamote .....	31
<b>Ilustración 3-3:</b>	Mapa político del cantón Guano .....	32
<b>Ilustración 6-3:</b>	Mapa de los puntos de muestreo en la provincia de Chimborazo .....	33
<b>Ilustración 7-3:</b>	Toma de muestra de suelo en diferentes zonas de la provincia de Chimborazo.....	34
<b>Ilustración 8-3:</b>	Coordenadas de los lugares seleccionados para el muestreo. ....	35
<b>Ilustración 9-3:</b>	Muestras de biomasa transportadas al laboratorio para procesarse.....	36
<b>Ilustración 10-3:</b>	Trituración de las muestras .....	37
<b>Ilustración 11-3:</b>	Determinación de materia orgánica de muestras de suelo. ....	38
<b>Ilustración 12-3:</b>	a) Separación de la muestra centrifugada; b) medición del pH.....	39
<b>Ilustración 13-3:</b>	Separación de la muestra centrifugada y medición de la conductividad eléctrica. ....	39
<b>Ilustración 14-3:</b>	a) Determinación de textura de los suelos mediante el hidrómetro; b) Lavado de muestra .....	41
<b>Ilustración 15-3:</b>	Digestión de muestras de suelo .....	43
<b>Ilustración 16-3:</b>	Refrigeración de muestras para posterior análisis por EAA de llama.....	44
<b>Ilustración 17-3:</b>	Digestión de muestras de suelo .....	51
<b>Ilustración 18-3:</b>	Refrigeración de muestras para posterior análisis por EAA de llama.....	52
<b>Ilustración 1-4:</b>	Número de integrantes de las familias encuestadas. ....	60
<b>Ilustración 2-4:</b>	Producción de los cultivos de las familias encuestadas. ....	61
<b>Ilustración 3-4:</b>	Tipo de cultivo destinado a la actividad agrícola según los encuestados..	62
<b>Ilustración 4-4:</b>	Utilización de fertilizantes y pesticidas en los cultivos según los encuestados .....	62
<b>Ilustración 5-4:</b>	Tipos de plaguicida que utiliza en los cultivos según los encuestados. ....	63
<b>Ilustración 6-4:</b>	Les brindan asesoramiento técnico a las familias encuestadas. ....	64
<b>Ilustración 7-4:</b>	Frecuencia de tiempo en el que realiza la fumigación de sus cultivos.....	64
<b>Ilustración 8-4:</b>	Tipo de fertilizante que utilizan las familias encuestadas. ....	65
<b>Ilustración 9-4:</b>	Tipo de pesticida que utilizan las familias encuestadas .....	66
<b>Ilustración 10-4:</b>	A que destinan los residuos finales de las cosechas de las familias encuestadas.....	67

<b>Ilustración 11-4:</b>	Destino de los productos en mal estado como residuo o no según los encuestados. ....	68
<b>Ilustración 12-4:</b>	Uso de los productos que no son destinados a la venta según las familias encuestadas.....	69
<b>Ilustración 13-4:</b>	Utilización de agua de riego para los cultivos según los encuestados. ....	70
<b>Ilustración 14-4:</b>	Utilización de un sistema de riego por parte de las familias encuestadas.	71
<b>Ilustración 15-4:</b>	Frecuencia de tiempo en que riegan los cultivos las personas encuestadas. .....	71
<b>Ilustración 16-4:</b>	Número de integrantes de las familias encuestadas. ....	72
<b>Ilustración 17-4:</b>	Crianza de especies ganaderas por las familias encuestadas.....	73
<b>Ilustración 18-4:</b>	Principales fuentes alimenticias destinadas a la actividad ganadera según los encuestados. ....	74
<b>Ilustración 19-4:</b>	Recepción de ayuda técnica para la crianza del ganado según los encuestados. ....	74
<b>Ilustración 20-4:</b>	Fuentes de agua para la crianza de ganado según los encuestados. ....	75
<b>Ilustración 21-4:</b>	Uso de la leche producida según los encuestados. ....	76
<b>Ilustración 22-4:</b>	Destino del estiércol producido por la ganadería según los encuestados..	77
<b>Ilustración 23-4:</b>	Uso del estiércol producido por la ganadería según los encuestados. ....	78
<b>Ilustración 24-4:</b>	Disposición de los residuos de estiércol en relación a las fuentes de agua según los encuestados. ....	78
<b>Ilustración 25-4:</b>	Ubicación del ganado en relación a las fuentes de agua según los encuestados. ....	79
<b>Ilustración 26-4:</b>	Tiempo de permanencia del estiércol vacuno sobre el suelo. ....	80
<b>Ilustración 27-4:</b>	Utilización de pesticidas para fumigación de pastos.....	80
<b>Ilustración 28-4:</b>	Tipo de pesticidas utilizados para fumigación de pastos .....	81
<b>Ilustración 29-4:</b>	Razas de ganado vacuno destinadas para actividad pecuaria según los encuestados .....	82
<b>Ilustración 30-4:</b>	Volumen de leche diario producido según los encuestados .....	82
<b>Ilustración 31-4:</b>	Frecuencia de consumo de la leche producida en el sector. ....	83

## ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** ENCUESTAS
- ANEXO B:** APLICACIÓN DE LAS ENCUESTAS A LA POBLACIÓN
- ANEXO C:** RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE SUELO Y BIOMASA.
- ANEXO D:** SECADO, MOLIENDA Y TAMIZADO DE LAS MUESTRAS.
- ANEXO E:** DETERMINACIÓN DE pH Y CONDUCTIVIDAD
- ANEXO F:** DETERMINACIÓN DE TEXTURA DE SUELOS
- ANEXO G:** DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA DE SUELOS Y BIOMASA
- ANEXO H:** DIGESTIÓN ACIDA DE LAS MUESTRAS
- ANEXO I:** TITULACIÓN DE CARBONO OXIDABLE
- ANEXO J:** DETERMINACIÓN DE NITRÓGENO POR EL MÉTODO KJELDAHL
- ANEXO K:** DETERMINACIÓN DE MACRO Y MICRONUTRIENTES POR EAA

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>ADN</b>	Ácido desoxirribonucleico
<b>As</b>	Arsénico
<b>BCF</b>	Factor de bioacumulación
<b>BTF</b>	Factor de biotransferencia
<b>C</b>	Carbono
<b>Cd</b>	Cadmio
<b>CE</b>	Conductividad eléctrica
<b>COE</b>	Comité de Operaciones de Emergencia
<b>Cu</b>	Cobre
<b>Da</b>	Densidad aparente
<b>Dr</b>	Densidad real
<b>EAA</b>	Espectroscopia de absorción atómica
<b>EDI</b>	Ingesta diaria recomendada
<b>EPA</b>	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos
<b>Fe</b>	Hierro
<b>Hg</b>	Mercurio
<b>HI</b>	Índice de peligro
<b>K</b>	Potasio
<b>MAGAP</b>	Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca
<b>Mn</b>	Manganeso
<b>MO</b>	Materia orgánica
<b>MP</b>	Metales pesados
<b>N</b>	Nitrógeno
<b>Na</b>	Sodio
<b>P</b>	Fósforo
<b>Pb</b>	Plomo
<b>pH</b>	Potencial de hidrógeno
<b>Se</b>	Selenio
<b>TF</b>	Factor de translocación
<b>THQ</b>	Coefficiente de peligro objetivo

## RESUMEN

El objetivo de la investigación fue estudiar la concentración de metales pesados (MP) en zonas de la provincia de Chimborazo afectadas por la ceniza del volcán Tungurahua para evaluar su impacto en la cadena alimentaria. Se caracterizó físicoquímicamente suelos, material vegetal (tallos, hojas y raíces de forraje) y alimentos, muestreados en quince puntos de la provincia. Las concentraciones de Hg, As, Se, Pb y Cd se determinaron por espectroscopía de absorción atómica. El impacto de MP en la cadena alimentaria se evaluó con los factores de bioconcentración, traslocación y biotransferencia. Para los riesgos en la población consumidora, el coeficiente de peligro objetivo, índice de peligro e ingesta diaria estimada. Los MP Cd, Pb y Se estuvieron por debajo de las concentraciones máximas tolerables (As <0,1 ppm; Cd <0,05ppm; Se < 0,05 ppm) establecidas por la EPA y CODEX ALIMENTARIUS en todos los casos. En suelos, el As superó los límites establecidos por la EPA (<0,01 ppm) en nueve puntos mientras que en material vegetal las concentraciones de Hg en la raíz superaron el límite indicado por el CODEX ALIMENTARIUS (<0,001 ppm) en todos los puntos muestreados. El estudio de correlación entre los análisis de suelos y material vegetal reportó en todos los casos coeficientes no significativos. Los factores de bioacumulación fueron calculados para el plomo. En seis zonas se obtuvo un BCF <1, trece reportaron un TF <1 y en nueve también se encontró un BTF<1. El HI, EDI y THQ para el plomo mostraron valores inferiores a 1 por lo que, no indica un impacto negativo en la salud de la población consumidora a pesar de su ingreso en la cadena alimentaria. Se recomienda realizar la determinación de metales pesados mediante métodos más sensibles que el utilizado en la presente investigación y también diseñar planes de remediación.

**Palabras clave:** <SEGURIDAD ALIMENTARIA>, <METALES PESADOS>, <CENIZA>, <VOLCÁN TUNGURAHUA>, <BIOACUMULACIÓN>, <CADENA ALIMENTARIA>.

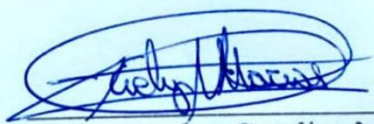


## ABSTRACT

The main objective of this research study was to examine the concentration of heavy metals (HM) in areas of the province of Chimborazo that were affected by ash from the Tungurahua volcano and its impact of it on the food chain. Soils, plant material (stems, leaves, and fodder roots), and food, sampled in fifteen points of the province, were characterized physicochemically. The concentrations of Hg, As, Se, Pb, and Cd were determined by atomic absorption spectroscopy. The impact of HM in the food chain was evaluated with bioconcentration, translocation, and biotransfer factors. For risks in the consuming population, the target hazard ratio, hazard index, and estimated daily intake. The HM Cd, Pb, and Se were below the maximum tolerable concentrations (As <0.1 ppm; Cd < 0.05 ppm; Se <0.05 ppm) established by the EPA and CODEX ALIMENTARIUS in all cases. In soils, As exceeded the limits established by the EPA (<0.01 ppm) in nine points, while in plant material the concentrations of Hg in the roots exceeded the limit indicated by the CODEX ALIMENTARIUS (<0.001 ppm) in all the sampled points. The correlation study between the soil that was analyzed, and plant material reported non-significant coefficients in all cases.

Bioaccumulation factors were calculated for lead in six zones a BCF <1 was obtained, thirteen reported a TF <1, and in nine a BTF <1 was also found. The HI, EDI, and THQ for lead showed values less than 1, therefore, it does not indicate a negative impact on the health of the consuming population despite its entry into the food chain. It is recommended to carry out the determination of heavy metals using more sensitive methods than the one used in the present investigation and also to design remediation plans.

**Keywords:** <FOOD SECURITY>, <HEAVY METALS>, <ASH>, <TUNGURAHUA VOLCANO>, <BIOACCUMULATION>, <FOOD CHAIN>.



Mgs. Evelyn Carolina Macias Silva  
C.I 0603239070

## **INTRODUCCIÓN**

La Seguridad Alimentaria se concibe al tener acceso económico y físico a suficientes alimentos inocuos para satisfacer necesidades y preferencias alimentarias. En países latinoamericanos, entre ellos Ecuador, el concepto aún no está arraigado en la población, especialmente la de bajos recursos debido a la escasa información en materia alimentaria proporcionada por instituciones gubernamentales (Calero, 2011; pp. 13 – 21).

La presente investigación hizo énfasis en el concepto de seguridad alimentaria ya que se evaluó la presencia de metales pesados en matrices vegetales, los que podrían afectar la salud de grupos poblacionales consumidores al verse expuestos de forma crónica a dichos contaminantes.

En el primer capítulo se citaron algunas investigaciones referentes a los impactos negativos de la presencia de metales pesados en la cadena alimentaria, además, las bases teóricas que ampliaron la comprensión de la terminología en torno al tema. En el segundo capítulo, se describió de manera detallada los métodos con los cuales se trabajó en el laboratorio para caracterizar fisicoquímicamente las muestras recolectadas.

Los resultados y su respectiva comparativa con investigaciones precedentes se discutieron en el tercer capítulo. En el cuarto capítulo se redactaron las conclusiones pertinentes en base a la evaluación de factores de bioacumulación de metales pesados e índices de peligro para el consumidor tomados como una representación cuantitativa del nivel de impacto a la cadena alimentaria. Finalmente, como aporte de la academia se plantearon recomendaciones que podrían aplicarse a futuro con miras al fortalecimiento de los conceptos de seguridad alimentaria en la población ecuatoriana.

# CAPÍTULO I

## 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

### 1.1. Antecedentes

#### *1.1.1 Contaminación por metales pesados y seguridad alimentaria*

Desde el año 2000, las normas en la UE se han hecho más estrictas en búsqueda de garantizar alimentos seguros para el consumidor. Uno de los objetivos planteados en relación a la presencia de contaminantes es establecer procedimientos que permitan cuantificar su concentración y evaluar el nivel de toxicidad admisible en productos alimenticios, esto con la finalidad de dejar totalmente prohibida la comercialización de aquellos en los que se haya encontrado metales pesados, considerados contaminantes altamente peligrosos, por encima de los límites máximos permisibles (González, 2009, pp. 305-310).

A nivel del suelo, los metales pesados presentan carácter acumulativo, poca biodegradabilidad, capacidad de acumulación inadvertida hasta concentraciones tóxicas e interacción con propiedades del suelo que determinan su movilidad y biodisponibilidad por lo que constituye un importante componente indicador de su calidad. Esto ha dado lugar a la elaboración de regulaciones donde se ha expuesto valores permisibles de metales pesados en suelos, sustratos y abonos orgánicos que se emplean en la producción de alimentos, normativa que varía ampliamente entre los diferentes países de cada continente (Muñiz, 2022, pp. 58 – 60).

En ecosistemas acuáticos, la presencia de metales pesados se debe principalmente a actividades antropogénicas y se convierte en una amenaza directa para la vida marina e indirecta para los seres humanos debido a propiedades ya mencionadas, persistencia, bioacumulación, no biodegradabilidad y toxicidad a bajas concentraciones. Es conocido que el mayor aporte a la contaminación de aguas por metales pesados se debe a descargas de líquidos residuales producto de la industria, lo que favorece un aumento en el grado de contaminación de fuentes hídricas y marítimas dando como consecuencia un incremento en su concentración y por ende mayor probabilidad de exposición a metales pesados por ingesta de agua y/o animales de río o mar provenientes de fuentes altamente expuestas (Pabón et al., 2020, pp. 9-18).

A pesar de los esfuerzos de organismos internacionales, la contaminación por metales pesados ocasionada por vía antrópica y natural está afectando drásticamente la seguridad alimentaria y la salud pública. Estudios recientes reportan la presencia de metales pesados y metaloides tales como mercurio, arsénico, plomo y cadmio en lechuga, col, brócoli y papa. De igual manera, se han encontrado metales en diferentes concentraciones en peces, carnes y leche como resultante de la bioacumulación y movilidad de los contaminantes. En la carne, el pescado y frutas se han



reportado valores de concentración entre 1 y 50  $\mu\text{g}/\text{kg}$  y en algunos granos entre 10 y 150  $\mu\text{g}/\text{kg}$  (Reyes et al., 2016, pp. 66-77).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) y algunas autoridades ambientales como la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), han establecido niveles de riesgo en función de la concentración de metales en aguas de consumo humano y alimentos. Los mapas realizados en varias regiones del mundo muestran un alarmante incremento en la concentración de metales pesados por encima de los límites establecidos. Finalmente, conociendo que la población aproximada en riesgo de exposición supera los 150 millones de habitantes, nos encontramos obligados a fortalecer los programas de saneamiento basados en el conocimiento biotecnológico para el desarrollo de procesos y estrategias experimentales en tareas de detección, cuantificación y remediación de suelos y aguas (Reyes et al., 2016, pp. 66-77).

## **1.2. Planteamiento del problema**

En la actualidad el volcán Tungurahua, es uno de los centros volcánicos más activos del territorio ecuatoriano. Con una altura aproximada es de 5020 m y un diámetro basal de 16 km, se divide en tres edificios sucesivos, Tungurahua I, II y III. La actividad del edificio Tungurahua III habría comenzado con la emisión del gran flujo de lava hace aproximadamente 2300 años. Desde el año 1300 el Tungurahua ha producido erupciones con flujos piroclásticos, caídas de ceniza, flujos de lava y lahares, al menos una vez por siglo (IGEPN, 2015: 1A).

El periodo eruptivo actual se inició en 1999 y persiste hasta el momento. En julio y agosto del 2006, por primera vez el volcán produjo dos grandes erupciones explosivas con formación de flujos piroclásticos que afectaron principalmente al flanco y sur occidentales. La caída de ceniza asociada a estos eventos fue de carácter regional afectando las provincias de Tungurahua, Chimborazo, Los Ríos y Bolívar. Desde entonces el volcán ha mantenido episodios de actividad intermitentes con duraciones de pocos días a semanas y pausas en la actividad de hasta 3 meses (IGEPN, 2015: 1A).

Dentro de la provincia de Chimborazo, las parroquias de Guano, Colta, Chambo, Guamote y Alausí han sido afectadas por la caída de ceniza tras las erupciones que impide el normal desarrollo de las actividades tradicionales, tales como agricultura y ganadería. Los vientos del norte transportan sobre la tierra de estos cantones, ceniza y otros productos volcánicos peligrosos para las personas, animales y cultivo años atrás, mucho antes de la declaración de alerta amarilla. Las cenizas del volcán Tungurahua son cenizas grises y se caracterizan por presentar metales pesados como vanadio, cromo, cobalto, níquel, cobre y zinc principalmente en su composición (MSP, 2000: 1A). La contaminación por estos metales en suelos agrícolas puede generar un grave problema para la salud humana, debido a que muchas especies vegetales comestibles pueden

absorber del suelo grandes cantidades de metales potencialmente tóxicos.

Aproximadamente el 90% de la ingesta de metales pesados es provocada por el consumo de alimentos contaminados; una concentración elevada de los mismos se traduce en riesgos directos para la seguridad alimentaria de la población en general. A nivel fisiológico, estos elementos son altamente atraídos por grupos sulfhidrilo causando la inactivación de unas 200 enzimas necesarias para procesos biológicos provocando finalmente malformaciones, disfunciones neuronales e incluso la muerte (Mitra et al., 2022, pp. 1 – 21).

Lo mencionado anteriormente resalta la necesidad del estudio de algunos de los suelos y pastos producidos para alimentación de ganado bovino en zonas de la provincia de Chimborazo afectadas por la ceniza del volcán Tungurahua con el fin de garantizar que dichos productos alimenticios sean inocuos para la salud del hombre como consumidor final en la cadena trófica.

### **1.3. Justificación**

Tras la erupción del volcán Tungurahua en el año 2016, la Dirección del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP) de la provincia de Chimborazo indicó que en los cantones de Penipe y Guano al menos 6000 cabezas de ganado y 5000 hectáreas de cultivo se vieron afectadas por la gran caída de ceniza. Informes técnicos del Observatorio del Volcán Tungurahua reportaron que para ese año la acumulación de ceniza sobre la comunidad Chonglontus fue de 7,7 g/m<sup>2</sup> mientras que a nivel general en las zonas afectadas se acumuló en un total de 14 lb/m<sup>2</sup>.

Aunque es evidente y altamente preocupante el impacto a nivel económico, debemos considerar sus consecuencias sobre la composición del suelo. Por mencionar algunas, la gran concentración de metales pesados inhibe el crecimiento y desarrollo normal de las plantas, disminuye las poblaciones microbianas en el suelo además de reducir la cantidad de nutrientes disponibles haciéndolo menos fértil con el tiempo.

Debido al comportamiento electroquímico similar entre algunos metales pesados y elementos nutritivos, las plantas están en capacidad de adsorber dichos elementos por las hojas, absorberlos por la raíz, bioacumularlos en tejidos específicos y traslocarlos entre tejidos, al igual que sucede con nutrientes esenciales siendo este el paso de ingreso a la cadena alimentaria. La persistencia de los metales a través de los diferentes eslabones de la cadena convierte al ser humano en el aceptor donde se evidencia el impacto negativo capaz de producir a nivel fisiológico.

En vista de que la finalidad de cualquier normativa legal es velar por el bienestar de la salud del hombre, se debe considerar tres factores como los esenciales en la cadena suelo – planta – hombre, así tenemos la concentración y grado de disponibilidad del metal pesado en el suelo, la cantidad que podría encontrarse en los diferentes tejidos de la planta o su bioacumulación y por último su impacto en la cadena trófica conjuntamente con los riesgos que esto implicaría en la seguridad

alimentaria y salud pública.

La evaluación del contenido de metales, tanto en suelos como cultivos resulta de vital importancia ya que permite cuantificar la transferencia de elementos traza dentro de la cadena suelo – planta al considerarse parte de los ciclos bioquímicos. Adicionalmente permite también evidenciar si el contenido de nutrientes es el adecuado para actividades agrícolas, al mismo tiempo que, se determina si la concentración de metales pesados en el suelo está dentro de los límites permisibles y seguros según normativas nacionales e internacionales.

El presente trabajo de investigación busca determinar la concentración de metales pesados de las diferentes matrices para luego evaluar tres factores. El de bioacumulación (BCF), para medir la capacidad de captación de cada metal en el pasto, tanto en la raíz como en la parte aérea, con relación a la concentración en el suelo. El de translocación (TF) a su vez estimará la capacidad de absorción de metales pesados en los órganos vegetativos tomando como base la raíz y el de biotransferencia (BTF) para conocer la transferencia de metales pesados de la planta a productos alimenticios de origen animal. Las fórmulas de cada factor son aplicables ya que en estudios similares se han usado para evaluar minuciosamente el paso de los metales pesados en la cadena trófica.

En la población, el estudio se enfocará en la evaluación del impacto para la salud, mediante la estimación del coeficiente de peligro objetivo (THQ), índice de peligro (HI) e ingesta diaria estimada (EDI). Estos factores permitirán conocer si el consumo de dichos productos alimenticios es seguro para la población con respecto a la presencia de metales pesados, razón por la que se desarrolla el presente proyecto investigativo.

Esta investigación forma parte del proyecto “ESTUDIO DE BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON LA CENIZA VOLCANICA EMPLEANDO COMPOST PROVENIENTE DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO.”, del Grupo Asociado de Investigación en Biotecnología Ambiente y Química (GAIBAQ) de la Facultad de Ciencias, y cuenta con el apoyo científico y tecnológico para la investigación, además de que recae en el área de investigación de Seguridad Alimentaria dentro del campo de profesionalización del Bioquímico Farmacéutico.

## **1.4. Objetivos**

### ***1.4.1. Objetivo general***

Estudiar la concentración de metales pesados en la alimentación primaria de ganado bovino y productos agrícolas cultivados en zonas de la provincia de Chimborazo afectadas por la ceniza del volcán Tungurahua y evaluar su impacto en la cadena trófica.

#### ***1.4.2. Objetivos específicos***

- Cuantificar metales pesados por espectroscopía de absorción atómica en muestras de suelo, pasto y productos agrícolas de las zonas de estudio.
- Determinar la acumulación y transferencia de metales pesados entre el suelo, pasto y alimentos mediante el factor de bioconcentración, factor de traslocación y factor de biotransferencia.
- Evaluar los riesgos en la salud de la población consumidora de los productos alimenticios mediante el coeficiente de peligro objetivo, índice de peligro e ingesta diaria estimada en la población en zonas de estudio.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

Mediante la búsqueda de información en distintas fuentes bibliográficas fiables y repositorios de universidades nacionales como es el caso de la ESPOCH, se corroboró que existen investigaciones en las que se evalúa la concentración de metales pesados presentes en suelos agrícolas también se encontró trabajos relacionados con el efecto de la ceniza en los suelos de uso agrícola (Mendoza, 2021, pp. 4 – 15).

En España se realizó una investigación donde se evaluaron la contaminación por metales pesados en suelos de cultivo cuyo objetivo fue la evaluación del estado de contaminación por Pb, Zn, Cu y Cd en suelos de cultivo de la Comunidad de Madrid, para lo cual se basó en los índices de acumulación de fondo, índices de acumulación ambiental e índices de contaminación. Los resultados mostraron que para el índice de acumulación de fondo los 4 elementos analizados dieron valores entre 2.4 y 3.3, en el índice de acumulación ambiental los metales analizados se encontraban dentro del rango del 11 al 18, siendo el valor superior Cd y el valor inferior el Zn y para el índice de contaminación se obtuvo que están comprendidos entre 3 y 6 siendo el Cd el que presento el mayor número de este índice (Cano et al., 1997, pp. 83-89).

Una investigación en Perú realizada en el 2020 por Andrade habla acerca de la determinación de metales pesados en suelos agrícolas y suelos para cultivo de *Solanum tuberosum* de la Bahía Interior de Puno, su objetivo fue determinar la presencia de metales pesados (Pb, Cd y As) en suelos agrícolas y suelos para cultivo de *Solanum tuberosum* de la Bahía Interior de Puno; las muestras fueron analizadas mediante el método de espectrometría de emisión óptica ICP-OES para la cuantificación de elementos traza. La concentración de metales fue comparada con parámetros establecidos para suelo. Los resultados obtenidos en el laboratorio fueron que las concentraciones de metales pesados se acumularon en los puntos que están cerca de la laguna de oxidación, encontrándose en la mayor cantidad de parcelas de cultivos, superando en todos los casos los parámetros establecidos por las Escuelas de Campo para los Agricultores (ECAs), Ministerio de Ambiente del Perú (MINAM) y Consejo Canadiense de Ministerios del Medioambiente (CCME) (2020, pp. 1 – 7).

En Venezuela, una publicación de la revista TecnoLógicas publicada por Mendoza (2021, pp. 4-15) buscó evaluar la concentración de metales pesados en suelos y los riesgos de fitotoxicidad asociado a la presencia de estos. En la cual los resultados mostraron que el contenido de Co, Cu, Ni, Cd y Zn fue mayor en el sistema de siembra directa debido al uso prolongado de abonos fosfatados. Finalmente, se determinó que los valores de Co, Cu y Cd estuvieron por encima de

los valores máximos permitidos por las normas ambientales internacionales La acumulación de metales pesados en suelos de Turén, tanto en el sistema de labranza convencional como en el de siembra directa, son producto del uso continuo de agroquímicos, en particular de la fertilización fosfatada, por lo que se recomienda reducir el uso de agroquímicos, además de llevar cabo acciones de biorremediación para su eliminación del suelo y evitar los problemas de contaminación que a largo plazo y problemas de salud asociada a la presencia de los mismos en suelos y aguas.

Un proyecto realizado por el grupo GAIBAQ de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH (2020: 1A), realizó la determinación de metales pesados en el forraje consumido por el ganado vacuno de la parroquia Bilbao y evaluación de su incidencia en la cadena alimentaria. Esta investigación surgió de la necesidad de estudiar las causas por las que se ha deteriorado el rendimiento productivo de los pastizales en la zona y sus consecuencias en la producción agrícola-ganadera. Cuyo objetivo fue determinar la concentración de metales pesados en el forraje consumido por el ganado vacuno de la parroquia Bilbao y evaluar su incidencia en la cadena alimentaria. Los resultados del estudio indican que el consumo de leche y productos lácteos corresponde a una proporción significativa de la ingesta diaria tolerable de plomo y cadmio. Además, la bioacumulación de plomo y cadmio a través de la cadena alimentaria debe ser un motivo de preocupación y también mostraron que las plantas de alfalfa contienen metales en las partes comestibles, y el consumo de éstas por los animales representa un riesgo a la salud.

## **2.2. Referencias teóricas**

### ***2.2.1. Volcán Tungurahua***

Situado en la Cordillera Real del Ecuador, cuyas coordenadas son 1,468 ° S; 78,446 ° O, con una altura de 5020 m.s.n.m y un diámetro de 16 km. Según su historia antes este volcán constaba de 3 volcanes sucesivos más conocidos como: Tungurahua I, II y III, de los cuales se sabe que los 2 primeros sufrieron un colapso transversal hace 33 ka (Nasimba, 2017, p.8).

### ***2.2.2. Actividad eruptiva del Volcán Tungurahua***

- **Años 1999-2005:** en Julio se registraron una serie de sismos de largos períodos y carácter profundo, en septiembre del 14 al 16 se declara ALERTA AMARILLA para poblaciones en el área de riesgo que son las provincias de Tungurahua y Chimborazo (Ortiz, 2019, pp. 23-25).
- **Años 2006-2010:** el 14 de Julio de 2006 luego de varios altibajos en la actividad eruptiva, se llegó a producir la más grande erupción luego de 88 años. Con lava y flujos piroclásticos que bajaban por 5 quebradas, que afectaron principalmente a Cusúa y Bilbao. En el año 2007 el

aumento de la actividad que mostró el volcán la noche del 23 de diciembre de ese año obligó al COE a declarar ALERTA ROJA. El 5 de febrero de 2008 el volcán nuevamente emitió columnas de ceniza, lo cual disminuyó al día siguiente. Durante ese mes no se registró explosiones fuertes, EL 23 de junio de 2009, fuentes de lava ocurrieron en la cumbre y bloques que fueron expulsados del cráter rodando 1 m por los flancos (Ortiz, 2019, pp. 23-25).

- **Años 2011-2016:** el Gobierno declaró alerta naranja el 26 de abril de 2011, 6 días después de que el volcán Tungurahua se reactivó y llegó a producir explosiones y emitiendo una columna de ceniza que por momentos llegó a los 8 km de altura. El 21 de agosto del 2012, generó 16 explosiones con columnas de emisión con alto contenido de ceniza de aproximadamente 4 km de altura y flujo piroclástico que descendió aproximadamente 2.5 km por la quebrada de Achupashal. El lunes 6 de mayo de 2013 la actividad sísmica del volcán incrementó con la generación de: 30 explosiones, 60 sismos leves internos y 35 periodos de temblor constante por la salida de gas y ceniza. El 31 de enero de 2014 hubo un incremento en su actividad presentando pequeñas explosiones con actividad sísmica consideradas de bajo riesgo. Tungurahua entró en erupción el 26 de febrero de 2016, la primera explosión se registró a las 12:11h, formando una columna eruptiva de 5 km snc y fue seguido por Tr que provocaron caídas de ceniza hacia el Occidente y Suroccidente (Ortiz, 2019, pp. 23-25).

#### *2.2.2.1. Composición química de la ceniza*

La composición química de la ceniza volcánica del Volcán Tungurahua es de: 58% SiO<sub>2</sub>, 17.2% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 6.75% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 3.65% MgO, 6.52% CaO, 4.1% Na<sub>2</sub>O, 1.7% K<sub>2</sub>O, 0.88 TiO<sub>2</sub>, 0.35% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 0.10% MnO (MSP, 2000: 1A).

#### *2.2.2.2. Efectos sobre la salud*

Refiriéndonos al aparato respiratorio superior puede producir irritación dando como enfermedad: rinitis, faringitis, amigdalitis, laringitis y puede empeorar a sinusitis. Como la ceniza volcánica está constituida principalmente de SiO<sub>2</sub>, este puede provocar irritación local y llegar a desarrollar silicosis. Existen algunas poblaciones indígenas viviendo alrededor del volcán. Tanto la provincia de Chimborazo como la provincia de Tungurahua han presentados desde hace varios años prevalencias altas de tuberculosis. A nivel de la conjuntiva de los ojos como cuerpo extraño, son los cristales de SiO<sub>2</sub>, los que afectan directamente a la conjuntiva y a la córnea, provocando abrasiones, además, del efecto irritante y a nivel de la piel es principalmente por su acción irritativa dérmica (MSP, 2000: 1A).

### ***2.2.3. Metales pesados***

La corteza terrestre y, por ende, los suelos poseen todos los elementos químicos naturales. Los metales proceden de los minerales existentes en las rocas, cuyas superficies expuestas a los agentes naturales de evolución sufren alteraciones físicas, químicas y biológicas, lo que significa desintegración de sus redes cristalinas, disolución de metales en ambientes hídricos, recombinación y formación de unidades cristalográficas nuevas y/o síntesis de compuestos orgánicos (Martínez y Rivero, 2005, pp. 14-20).

Los metales pesados son elementos que pueden encontrarse en pequeñas cantidades y pasan a ser tóxicos a partir de un determinado umbral de concentración. Se clasifican en dos grupos: el primero considera los micronutrientes esenciales para los organismos vivos como plantas, animales y humanos, entre los que están el Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn, pero pueden producir efectos tóxicos cuando sobrepasan determinados niveles, y el segundo lo componen aquellos que no presentan una función biológica conocida y que después de determinados niveles provocan disfunciones graves en los organismos, incluidos los seres humanos, como es el caso de Cd, Pb, As y Hg (Rueda et al., 2011, pp. 203-217).

#### ***2.2.3.1. Cadmio (Cd)***

Forma parte de la composición natural de algunas rocas y suelos y provoca una liberación al medio ambiente cercana a 25000 toneladas. De otra parte, por vía antrópica las concentraciones en el ambiente pueden ser incrementadas considerablemente. Ya que es un metal ampliamente utilizado en la industria y productos agrícolas, esto ha producido un progresivo aumento en su producción. El 5% del metal es reciclado y debido a su notable movilidad, provoca una importante contaminación ambiental (Reyes et al., 2016, pp. 68-69).

#### ***2.2.3.2. Arsénico (As)***

Es un elemento ampliamente distribuido en la atmósfera, en la hidrosfera y en la biosfera, el cual está presente en varios estados de oxidación. Los efectos toxicológicos del As no son bien conocidos y se especula sobre el proceso de transferencia a los seres humanos. La arsenicosis es una enfermedad que se presenta por elevadas concentraciones de As inorgánico y presenta diferentes afectaciones en la salud humana tales como problemas respiratorios, enfermedades cardiovasculares, gastrointestinales y efectos cancerígenos (Reyes et al., 2016, pp. 68-69).



#### 2.2.3.3. *Plomo (Pb)*

Es un metal pesado que se ha utilizado durante muchos años debido a su resistencia a la corrosión, ductibilidad, maleabilidad y facilidad para formar aleaciones. El plomo es absorbido por inhalación, ingestión y a través de la piel. Las principales vías de exposición son la inhalación de partículas de plomo generadas por combustión de algunos materiales y la ingestión de polvo, agua o alimentos contaminados. Tiende a distribuirse en diferentes órganos, tejidos, huesos y dientes, donde se va acumulando con el paso del tiempo. La intoxicación por plomo varía de acuerdo con la edad de la persona y su nivel de exposición (Reyes et al., 2016, pp. 68-69).

#### 2.2.3.4. *Mercurio (Hg)*

Es un metal líquido a temperatura ambiente, que además de encontrarse en su estado elemental, se puede hallar como derivados inorgánicos y derivados orgánicos. El mercurio elemental es poco soluble y por lo tanto poco tóxico al ingerirse, pero puede emitir vapores tóxicos a cualquier temperatura y ocasionar intoxicaciones agudas y crónicas por su inhalación. La toxicidad que exhibe el mercurio depende de la fase química en la que se encuentre. El metilmercurio es una de las formas con elevada toxicidad y es muy fácilmente incorporado en la cadena alimenticia y bioacumulado en seres vivos. Afecta principalmente al sistema nervioso y puede producir graves daños en el cerebro en estado fetal. Es activamente perjudicial para el sistema cardiovascular y puede ser cancerígeno (Reyes et al., 2016, pp. 68-69).

#### 2.2.3.5. *Selenio (Se)*

La denominación de metal pesado para este elemento se encuentra en discusión. El estrecho intervalo de concentración para que el selenio sea considerado como tóxico o esencial hace que deba controlarse su contenido en la dieta. La cantidad diaria recomendada tanto para hombres y mujeres son 55 µg/día, mientras que el límite superior tolerable de ingesta son 400 µg/día. Los síntomas de una toxicidad aguda por selenio traen consigo dolor de cabeza, mareos, disnea, fatiga, náuseas, vómitos, aliento a ajo, gusto amargo en la boca e irritación de las membranas mucosas de los ojos y del tracto respiratorio superior. Por otra parte, los síntomas de una toxicidad crónica (selenosis) provocan depresión, nerviosismo, mareos, inestabilidad emocional, dermatitis, aliento a ajo, sudores, problemas gastrointestinales, exceso de caries y, en casos extremos, pérdida de pelo y uñas (Cuello, 2016. pp. 15 – 244).

#### ***2.2.4. Métodos de determinación de metales pesados***

##### *2.2.4.1. Espectrometría de absorción atómica*

La técnica de absorción atómica es ampliamente usada para la investigación en laboratorios, así como en la industria alimenticia, investigación ambiental, farmacéutica, y otros sectores. Presenta la particularidad de permitir la atomización de la muestra por medio de tres procesos diferentes los cuales son: espectrometría de absorción atómica por flama (FAAS), por atomización electrotérmica (ETAAS) y por generación de vapores químicos o de hidruros (CVG-AAS). Si bien la técnica más usada es la técnica por flama, esta presenta poca sensibilidad respecto a las otras dos y en el caso de los metales pesados los cuales se encuentran generalmente en bajas cantidades de forma natural, la técnica de flama no es la más adecuada.

En cuanto a la técnica electrotérmica, se pueden analizar muestras solidas directamente y presenta mayor sensibilidad que realizada por flama, sin embargo, requiere de una eficiente optimización de la temperatura programada, además de la elección de modificadores químicos adecuados para obtener resultados exactos.

La última técnica es la generación de hidruros o vapores químicos, que posee gran sensibilidad, trabaja por medio de la formación de hidruros de los metales a analizar los cuales luego son atomizados para su medición, esta técnica se ha visto restringida a cierto grupo de metales que se consideran más difíciles de trabajar como arsénico, antimonio, selenio y cadmio (Pabón et al., 2020, pp. 9-18).

##### *2.2.4.2. Espectrometría de plasma de acoplamiento inductivo*

Es un método conjunto, es decir suele ir de la mano con otros métodos como lo son la espectrometría de masas y la espectroscopia de emisión óptica. La técnica permite el análisis de la muestra que es ionizada en la flama conocida como plasma sin embargo es una técnica que consume en exceso el gas que forma el plasma que generalmente es argón lo cual hace que el uso de técnicas acopladas con plasma tienda a ser costosas.

##### *2.2.4.3. Técnicas fotométricas*

Consisten en hacer reaccionar un metal en medio acuoso con un agente fotométrico como la ditionona para posteriormente someter el complejo formado a un análisis con un espectrofotómetro a una determinada longitud de onda lo que permite cuantificar el contenido del metal en la muestra analizada a través de la variación de absorbancia.

#### *2.2.4.4. Técnicas electroquímicas*

Este método consiste en la combinación de un método electroquímico para un pre-enriquecimiento selectivo junto con un método espectroscópico para lograr el análisis tanto cualitativo como cuantitativo de estos contaminantes. Hasta ahora métodos como la electrodeposición o electroadsorción han sido usados en conjunto con técnicas como la absorción atómica, espectrometría de Raman de superficie mejorada, fluorescencia de rayos X entre otras (Pabón et al., 2020, pp. 9-18).

#### *2.2.5. Contaminación por metales pesados*

Los efectos sobre el medio ambiente son bastantes graves, a nivel del suelo cambia su alcalinidad en dependencia de la concentración de metales pesados. También contaminan el agua y hectáreas de cultivos agrícolas. En estos, si es una cantidad excesiva de plomo se pueden producir algunas alteraciones en las plantas a nivel tisular, pudiendo inclusive llegar a degradar el suelo, por ende, disminuye su productividad, si la contaminación es excesiva, puede llegar a producir desertificación (Romero, 2009, p. 45-46).

En ecosistemas acuáticos como ríos y lagos, afecta principalmente la fauna. El problema de la contaminación del medio ambiente por metales pesados es que sus consecuencias son silenciosas, cuando finalmente se hacen visibles, ya es tarde debido al gran impacto en algunos casos irreversible, que han causado. Como un aspecto positivo, hay que mencionar que se está tomando medidas, aunque ha costado mucho que algunos países industrializados apliquen estas (Romero, 2009, p. 45-46).

##### *2.2.5.1. Efectos sobre suelos agrícolas*

Estos metales aparecen a concentraciones muy bajas y presentan una gran variabilidad debido a la composición del material parental y los procesos de formación y evolución del suelo. Estas concentraciones se pueden modificar e incrementar por diversas prácticas agronómicas, tales como la aplicación de fertilizantes minerales y agroquímicos, fertilizantes orgánicos de origen animal o vegetal, enmiendas orgánicas, lodos de plantas de tratamiento de aguas, también por acumulación de material volcánico piroclástico como ceniza, que constituyen las principales fuentes de estos metales. Cuando se supera la capacidad tampón por una carga continua de sustancias contaminantes o cambios en el pH del suelo, los metales pesados pueden quedar biodisponibles para ser absorbidos por las plantas a través de las raíces (Rueda et al., 2011, pp. 203-217).

La acumulación de estos elementos en suelos agrícolas es un riesgo tanto para la salud animal como humana. Sus efectos negativos dependen de la concentración del metal y las propiedades específicas del suelo. Para evaluar el impacto ambiental de estas sustancias contaminantes, en los últimos años diferentes investigaciones han estudiado esta problemática y su correlación con los niveles encontrados en condiciones naturales, lo que ha permitido la identificación de suelos contaminados a partir de la definición de criterios de umbral de contaminación, los que, a su vez, han permitido diferenciar entre las concentraciones de estos elementos en un suelo natural y uno alterado, su nivel de riesgo, a quién afecta, el nivel de tolerancia y las prioridades de recuperación (Rueda et al., 2011, pp. 203-217).

#### *2.2.5.2. Efectos sobre la cadena trófica*

Los metales pesados son elementos naturales que encontramos en el planeta tierra, muchos de estos son indispensables para el metabolismo de los seres vivos, sin embargo, en grandes cantidades llegan a ser la causa principal de riesgo tóxico en la cadena trófica. Pues al no ser ni química ni biológicamente degradables al momento de ser emitidos tardan años en el medio ambiente. Estos contaminan el suelo y poco a poco se va acumulando en plantas y a medida que son ingeridos por otros llegan a provocar intoxicación, afectando a órganos como el riñón e incluso en el peor de los casos causa la muerte (Londoño et al., 2016, pp. 145-153).

#### *2.2.5.3. Efectos sobre la salud*

La Agencia de Protección Ambiental (EPA) ha establecido estándares de seguridad para la mayoría de los metales pesados que pueden representar un riesgo a la salud humana. Se pueden dividir en dos grupos de acuerdo con los efectos negativos agudos y crónicos posibles. Casi todos los metales pesados pueden tener un efecto agudo si se consume en niveles altos. Los efectos crónicos ocurren después que las personas consumen un contaminante a niveles sobre los estándares de seguridad de EPA durante muchos años. Entre los ejemplos de efectos crónicos tenemos el cáncer, problemas del hígado o riñones o dificultades en la reproducción. El riesgo a la salud por contaminación de metales pesados depende principalmente de su nivel de acumulación en el cuerpo. Los riesgos son mayores si el tiempo de exposición del organismo a dicha contaminación es prolongado (Prieto et al., 2009, pp. 29-44).

**Tabla 1-2:** Efectos crónicos en la salud por exposición de As, Cd, Cr, Pb, Se y Hg.

Elemento	MNMC* (mg/L)	NMC** o TT*** (mg/L)	Posibles efectos sobre la salud	Fuentes de contaminación
Arsénico	ninguno	0.05	Lesiones en la piel, trastornos circulatorios, alto riesgo de cáncer	Erosión de depósitos naturales, aguas de escorrentías de huertos, aguas con residuos de la fabricación de vidrios y electrónicos.
Cadmio	0.005	0.005	Lesiones renales	Corrosión de tubos galvanizados, erosión de depósitos naturales, efluentes de refinерías de metales, líquidos de escorrentías de baterías usadas y de pinturas.
Cromo total	0.10	0.10	Dermatitis alérgica	Efluentes de fábricas de aceros y papel, erosión de depósitos naturales.
Plomo	0.00	Nivel de acción = 0.015	En bebés y niños, retardo en desarrollo físico o mental, leve déficit de atención, en adultos, trastornos renales e hipertensión	Corrosión de cañerías en el hogar, erosión de depósitos naturales
Selenio	0.05	0.05	Dolor de cabeza, mareos, disnea, fatiga, náuseas, vómitos, aliento a ajo, gusto amargo en la boca e irritación de las membranas mucosas de los ojos y del tracto respiratorio superior	Erosión de depósitos naturales, combustión de compuestos fósiles,
Mercurio	0.005	0.005	Afecta al sistema nervioso y puede producir graves daños en el cerebro en estado fetal. Alteraciones en el sistema cardiovascular y cancerígeno	Ruptura de bombillas fluorescentes compactas, termómetros de vidrio, industrias donde se use mercurio o minas antiguas

**\*Meta de Nivel Máximo Contaminante (MNMC):** Es el nivel de un contaminante en el agua potable por debajo del cual no se conocen o no se esperan riesgos para la salud. Permiten contar con un margen de seguridad y no son objetivos obligatorios de la Salud Pública.

**\*\*Nivel Máximo del Contaminante (NMC):** Es el máximo nivel permitido de un contaminante en el agua potable. Los NMC se establecen tan próximos a los MNMC como sea posible, usando la mejor tecnología de tratamiento posible. Los NMC son normas de obligatorio cumplimiento.

**\*\*\*Técnica de Tratamiento (TT):** Proceso obligatorio cuya finalidad es reducir el nivel de contaminante dado en el agua potable

**Fuente:** (Prieto et al., 2009, pp. 29-44).

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

## 2.2.6. Actividad agrícola y pecuaria en Chimborazo

### 2.2.6.1. Cantón Guamote

- *Actividad agrícola*

El cantón Guamote tiene una superficie total de 117.327,61 ha; el 66 % corresponde a cobertura vegetal natural. Los principales por cultivos son: pastos, papa, cebada, haba, maíz, avena, trigo y chocho principalmente. Los pastos cultivados carecen de sistemas de riego y una parte de los mismos son eventualmente fertilizados. La ganadería en el cantón Guamote, no cuenta con asistencia técnica, ni con equipos y maquinaria (GAD Municipal de Guamote, 2019, p. 230).

Conforme los datos del MAGAP en el año 2014, los mayores volúmenes de producción de los productos agrícolas a nivel de cantón Guamote tienen la papa (2.916,04 ha), seguido de la quinua (1.337,19 ha) mientras que en tercer lugar le sigue la producción de chochos (1.120,82 ha) (GAD Municipal de Guamote, 2019, p. 231).

Al ser los terrenos en su gran mayoría de propiedad individual, la explotación es intensiva, lo que contribuye a la pérdida de la calidad de los suelos que, son de textura franco – arenosa, con bajo contenido de materia orgánica, lo que ha ocasionado en algunos sectores zonas altamente erosivas. Las hortalizas como el ajo, zanahoria y cebolla tienen importancia en los sectores que cuentan con riego mientras que los sectores que no disponen de riego cultivan cereales principalmente maíz y cebada. También leguminosas como arveja y haba. Se identifica la zona ganadera entre los 2700 y 2950 msnm, especialmente de producción de leche (GAD Municipal de Guamote, 2019, pp. 274 – 275).

**Tabla 2-2:** Productos agrícolas cultivados en el cantón Guamote

CULTIVO	HECTÁREAS	%
Pasto	8255,68	47,56
Papa	2916,04	16,80
Maíz	853,70	4,92
Cebada	1114,08	6,42
Quinua	1337,19	7,71
Chocho	1120,82	6,46
Haba	728,07	4,19
Trigo	26,31	0,15
Alfalfa	801,73	4,62
Arveja	132,75	0,76
Mora	3,16	0,02

Hortalizas	1,32	0,01
Cebolla colorada	26,31	0,15
<b>Total</b>	<b>17356,63</b>	<b>100,00</b>

**Fuente:** (GAD Municipal de Guamote, 2019, pp. 231 – 232).

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

- *Actividad pecuaria*

Guamote no es un sector ganadero por excelencia, sin embargo, hay presencia de ganado de leche con una producción de leche estimada de 36071 litros diarios y animales para la venta en el mercado local como cuyes y ovinos especialmente (GAD Municipal de Guamote, 2019, pp. 237 – 239).

En cuanto a crianza de animales, el mayor porcentaje es de cuyes con un 38% bajo un sistema semi – tecnificado debido a que como es lógico se permite el alojamiento de más animales por superficie de terreno. En un segundo nivel de importancia están los ovinos con 24,83%, junto con el ganado bovino, este último con 8,92% mientras que el ganado porcino ocupa 23,52% de la producción pecuaria. La producción de leche, en promedio en el cantón es de 4 litros por día contrastada con la marginal producción ganadera de carne, ya que es más costoso su mantenimiento, se evidencia escasez de pasto, todo esto sumado al limitado conocimiento técnico (GAD Municipal de Guamote, 2019, pp. 237 – 239).

**Tabla 3-2:** Actividad pecuaria en el cantón Guamote

<b>ESPECIE</b>	<b>POBLACIÓN</b>	<b>%</b>
Bovinos	30501	8,92
Ovinos	84893	24,83
Porcinos	80405	23,52
Caballar	1912	0,56
Mular	71	0,02
Cabras	478	0,14
Alpacas	52	0,02
Llamas	1339	0,39
Conejos	6952	2,03
Cuyes	133250	38,98
Aves	2000	0,59
<b>Total</b>	<b>341853</b>	<b>100</b>

**Fuente:** (GAD Municipal de Guamote, 2019, pp. 237 – 239).

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

### 2.2.6.2. Cantón Guano

- *Actividad agrícola*

El cantón Guano tiene una superficie total de 46.522,87 hectáreas, de las cuales el 57,72% corresponde a la categoría tierras agropecuarias, dentro de estas áreas se cuenta con extensiones destinadas a cultivos solos 4.742,75 ha; mosaico agropecuario 10.795,86 ha; pastizales 11.256,08 ha y otras tierras agrícolas 56,90 ha (GAD Municipal del Cantón Guano, 2019, pp. 48 – 49).

De la superficie total se tiene que el 43,47% corresponde a una clasificación mediana con buena disponibilidad de nutrientes, mediana saturación de bases, texturas variables de arcillosos a francos, con contenidos de materia orgánica medios mientras que el 36,58% son de clasificación baja con baja disponibilidad de nutrientes, baja saturación de bases, materia orgánica baja y textura arenosa o areno francoso (GAD Municipal del Cantón Guano, 2019, pp. 21).

La papa tiene el mayor volumen de producción en la provincia, seguido del tomate riñón, caña de azúcar, choclo, haba tierna y cebada. El cantón Guano por su parte tiene un importante aporte a la producción agropecuaria provincial, tanto en papa, maíz suave, chocho, haba, trigo y alfalfa. Al analizar la composición de los cultivos solos se observa que el cultivo del maíz suave sea en fresco o seco representa el 66,90%, seguido por la cebolla blanca en rama 13,09%; otros cultivos de ciclo corto 8,55%; papa 5,14% y haba 4,30% (GAD Municipal del Cantón Guano, 2019, pp. 161).

**Tabla 4-2:** Productos agrícolas cultivados en el cantón Guano

CULTIVO	HECTÁREAS	%
Arveja	9,29	0,20
Brócoli	4,09	0,09
Cebada	59,98	1,26
Cebolla blanca de rama	630,84	13,09
Cebolla colorada	2,50	0,05
Chocho	5,11	0,11
Cilantro	1,34	0,03
Haba	204,14	4,30
Limón	3,95	0,08
Maíz	2455,73	51,78
Maíz suave	717,21	15,12
Nabo	1,26	0,03
Otro	405,41	8,55
Otros de ciclo corto	0,86	0,02



Papa	243,58	5,14
Perejil	0,94	0,02
Trigo	4,18	0,09
Zanahoria amarilla	2,36	0,05
Total	4742,75	100

**Fuente:** (GAD Municipal de Guamote, 2019, p. 162).

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

- *Actividad ganadera*

Haciendo referencia a la producción lechera, el cantón Guano aporta a la producción nacional con alrededor de 130 mil litros por día de leche fresca que suman 40 millones aproximadamente de litros al año; si se considera que la provincia de Chimborazo produce al día 398868 litros; el cantón Guano aporta con el 32,5% de la producción diaria de leche, proveniente principalmente de las parroquias San Andrés, San Isidro y Santa Fe de Galán (GAD Municipal del Cantón Guano, 2019, pp. 164).

### 2.2.6.3. Producción forrajera en cantones de la provincia

Conforman una parte importante de la alimentación para especies animales de interés pecuario, principalmente ganado bovino. Dentro de este grupo encontramos algunos vegetales como plantas herbáceas, anuales o pluri-anales, gramíneas o leguminosas, cuyo aprovechamiento ganadero se puede realizar directamente mediante pastoreo, o derivando la producción mediante la práctica agrícola de la siega (corte) y posterior almacenamiento. Este forraje fresco puede suministrarse al ganado en verde o conservándolo, reduciendo su grado de humedad hasta niveles que permiten su conservación en el tiempo y en el espacio (Ranch Engineering, 2020, pp. 1 - 2).

- *Composición mineral*

La fertilidad del suelo afecta al contenido de elementos minerales y al desarrollo de los tejidos de las plantas. En general, los forrajes producidos en condiciones adecuadas de fertilización del suelo contienen una cantidad suficiente de los elementos principales – fósforo, potasio, calcio y magnesio– para satisfacer las necesidades del ganado (Ranch Engineering, 2020, pp. 1 - 2).

- **Fósforo:** Las plantas forrajeras contienen del 0.18 al 0.35% de fósforo en la materia seca. El contenido de fósforo en el suelo o en la planta rara vez excede del 0.50%, aunque hay casos en que los forrajes contienen un porcentaje tan bajo como 0.07% y tan alto como el 0.74 % (Ranch Engineering, 2020, pp. 1 - 2).

- **Potasio:** En la solución del suelo se encuentra potasio fácilmente utilizable, que está ligado químicamente al complejo de intercambio de la arcilla del suelo. Se considera adecuada, para el crecimiento de las plantas forrajeras, una disponibilidad de potasio en el suelo que proporcione un contenido de 1.2 a 1.5%; este contenido puede elevarse hasta un 3.5% o más, con una fertilización abundante en potasio (Ranch Engineering, 2020, pp. 1 - 2).
- **Calcio:** este elemento no es movilizable, pero es dinámico entre estaciones, así como entre localidades. En general, las especies forrajeras contienen de 0.18 a 0.48%. Un desequilibrio entre los cationes calcio, magnesio y potasio, produce una depresión del calcio en los tejidos de las plantas (Ranch Engineering, 2020, pp. 1 - 2).
- **Elementos menores:** los elementos menores que necesitan los animales para un crecimiento y una reproducción normales –boro, cobalto, cobre, cloro, yodo, hierro, manganeso, molibdeno, sodio y zinc– suelen encontrarse en cantidades adecuadas en la mayoría de los forrajes (Ranch Engineering, 2020, pp. 1 - 2).

<b>Estaciones</b>	Otoño	Inv.	Prim.	Verano
<b>Elementos</b>				
Ca (g kg <sup>-1</sup> )	3.9	2.3	5.2	5.2
P (g kg <sup>-1</sup> )	1.0	0.4	1.7	1.0
Mg (g kg <sup>-1</sup> )	1.3	0.6	1.3	1.0
K (g kg <sup>-1</sup> )	19.2	7.8	19.7	11.9
Na (g kg <sup>-1</sup> )	1.0	0.4	1.0	0.7
Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	2.3	1.0	2.5	1.2
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	36.7	21.3	49.5	24.3
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	93.8	61.8	135.9	78.3
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	42.5	22.8	35.2	27.7

**Ilustración 1-2:** Dinámica del contenido de macro y micronutrientes en forrajes según la estación del año.

**Fuente:** (Ranch Engineering, 2020, pp. 1 - 2).

### **2.2.7. Factores de Bioacumulación de metales pesados**

Los procesos bioacumulativos son los causantes del mantenimiento y persistencia de metales pesados en diferentes ecosistemas. Dichos elementos pueden formar parte de los componentes estructurales de tejidos en especies animales como vegetales al no poder atravesar procesos de degradación física, química y bioquímica; de esta forma, los organismos que se consumen

alimentos contaminados en forma directa o indirecta pasan a ser un reservorio en su interior de diferentes concentraciones de metales (Rodríguez, 2018, pp. 22 – 24).

La bioacumulación se desarrolla gracias a la acción capilar asociada a la tensión superficial, dicho de otra forma, el ingreso de agua junto con metales pesados a la planta se ve favorecido por la cohesión entre moléculas en los vasos de raíces y tallos, facilitando el ascenso y acumulación de metales en la parte aérea de plantas como hojas y frutos (Rodríguez, 2018, pp. 22 – 24).

Los factores considerados para determinar la capacidad de las plantas para acumular metales pesados son el factor de bioconcentración o bioconcentración (BCF), el factor de biotransferencia (BTF) y el de traslocación (TF) (Rodríguez, 2018, pp. 22 – 24).

#### 2.2.7.1. Factor de bioconcentración BCF

Es definida como la relación entre la concentración de metales pesados en tejidos vegetales y la concentración de metales pesados en el suelo, representa la concentración relativa del metal pesado en la planta en comparación con la del suelo. Se puede calcular dividiendo la concentración de las raíces de las plantas entre la concentración de metal en el suelo, así (Pancobo y Ruiz, 2020, pp. 23-25):

$$BCF = \frac{[Concentración\ del\ metal]Raíz}{[Concentración\ del\ metal]Suelo}$$

#### 2.2.7.2. Factor de biotransferencia BTF

Se define como la proporción del metal pesado en el tejido del organismo o en las sustancias secretadas (leche, orina o heces) con la ingesta diaria de dicho elemento por parte del organismo vivo, su valor se calcula a través de la siguiente fórmula (Castellanos, 2015, pp.8 – 20):

$$BTF = \frac{[Concentración\ del\ metal\ alimento](mg\ kg^{-1})}{Consumo\ promedio\ diario\ del\ metal\ (mg\ día^{-1})}$$

#### 2.2.7.3. Factor de traslocación TF

Se define como el cociente entre la concentración del metal en los órganos aéreos y raíz, así (García et al., 2011, pp. 19-29):

$$TF = \frac{[Concentración\ del\ metal]Parte\ comestible}{[Concentración\ del\ metal]Raíz}$$

Los factores de bioconcentración y traslocación indicarán qué especies de plantas pueden ser consideradas acumuladoras, tolerantes o excluidoras de los elementos de interés. Las plantas con  $BCF > 1$  y  $TF > 1$  son considerados como acumuladoras o hiper acumuladoras (si las concentraciones exceden 0,1 %), las que presentan valores entre 0.1 y 1, respectivamente, son

consideradas como tolerantes y las que presentan valores menores a 0.1 se consideran como plantas excluseras (Mendieta y Taisigüe, 2014, p.5).

El factor de biotransferencia proporciona una sencilla y útil herramienta para estimar el nivel ingerido de un metal pesado a través de las principales fuentes de exposición. Se ha determinado para las concentraciones totales de elementos como cadmio ( $3.0 \times 10^{-4}$  días/L), cromo ( $1.0 \times 10^{-5}$  días/L), plomo ( $1.4 \times 10^{-3}$  días/L), mercurio ( $6.7 \times 10^{-4}$  días/L), níquel ( $2.7 \times 10^{-5}$  días/L) y arsénico ( $5.7 \times 10^{-4}$  días/L) (Castellanos, 2015, pp.8 – 20).

### **2.2.8. Evaluación de riesgos para la salud**

Los riegos que llegan a provocar en la salud dependen del tipo de metal, pero hablando de manera general se puede mencionar que atacan al riñón, hígado, huesos, dientes, cerebro (en algunos casos en estado fetal), sistema cardiovascular, problemas respiratorios, cáncer, problemas gastrointestinales y sistema inmunológico (Reyes et al., 2016, pp. 66-77).

#### **2.2.8.1. Coeficiente de peligro objetivo**

También denominado HQ y por las recomendaciones dadas por la USEPA se llegó a considerar un riesgo elevado de peligro para la salud humana si el resultado obtenido era mayor que 1, mediante la siguiente ecuación:

$$HQ = \frac{DIQ}{IRf}$$

Donde:

- **DIQ** es la dosis de ingesta diaria
- **IRf** es el Índice de Referencia del Contaminante, es decir, la concentración en la que se encuentra el contaminante (Vargas y Marrugo, 2018, p. 12).

#### **2.2.8.2. Ingesta diaria recomendada**

La EID se conoce como un acercamiento a la cantidad de contaminante que una persona puede llegar a ingerir en un día, en un periodo de exposición y concentración del analito (la cual se encuentra establecida). Se calcula según la siguiente fórmula:

$$EID = \frac{E_F \times E_D \times F_{IR} \times C_f \times C_m}{W_{AB} \times T_A}$$

Donde:

- **E<sub>F</sub>** es la frecuencia de exposición los 365 días del año
- **E<sub>D</sub>** es la duración de la exposición

- $F_{IR}$  es la tasa de ingestión
- $C_F$  es un factor de conversión de peso húmedo a seco
- $C_m$  es la concentración del metal
- $W_{AB}$  es el peso promedio de un adulto
- $T_A$  es la exposición promedio para no carcinogénicos (Michel, 2019, pp. 29-31).

### 2.2.8.3. Índice de peligro objetivo

Núñez y Villanueva describen que se conoce al índice de peligro como la sumatoria de los cocientes de riesgo objetivo individuales de cada alimento que fue evaluado. El cual se obtiene mediante la siguiente ecuación (2020, pp. 35-37):

$$HI = \sum_{N=1}^i THQ_n$$

### 2.2.9. Normativa EPA (Agencia de Protección Ambiental de EEUU)

La Agencia de Protección Ambiental (EPA) tiene como función principal salvaguardar la salud de los seres humanos, del medio ambiente y también de los recursos naturales. Pues esta normativa se encarga de prevenir y controlar la contaminación existente en agua y suelo a través de estándares establecidos referente a la calidad del aire y programas que garanticen la calidad del agua (EPA, 2022: 1A).

Esta normativa tiene una importante relación con nuestra investigación pues en base a investigaciones anteriores en diversos lugares se han ido estableciendo las normativas de los distintos metales pesados en los cuales nos indican los límites permitidos de consumo de estas pequeñas sustancias que son nocivas para los seres humanos y que tienen a acumularse en la cadena alimenticia (Mahecha et al., 2015, pp. 118-122).

#### 2.2.9.1. Límites máximos permitidos de metales pesados

- Según el reglamento UE 2021/1317 ha establecido que límite máximo permitido de Pb en alimentos es de 0.020 mg/kg (Unión Europea, 2006, pp. 1-4).
- Según el reglamento UE 2021/1323 ha establecido que límite máximo permitido de Cd en alimentos dependiendo del mismo va desde 0.001 a 1.20 mg/kg (Unión Europea, 2006, pp. 1-4).
- Según la Norma Técnica Ecuatoriana NTE 0009:2008 el límite máximo permitido de As es de 0.015 mg/kg (Ayala y Romero, 2013, pp. 36-43).
- Según la Norma Técnica Ecuatoriana NTE 0009:2008 el límite máximo permitido de Hg en

alimentos es de 0.005 mg/kg (Ayala y Romero, 2013, pp. 36-43).

### **2.2.10. Seguridad alimentaria**

Existe seguridad alimentaria cuando todas las personas tienen en todo momento acceso físico y económico a suficientes alimentos inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades alimenticias y sus preferencias en cuanto a los alimentos a fin de llevar una vida activa y sana.

Se establece desde dos puntos de vista diferentes, refiriéndonos a nivel macro el lugar del estado juega un papel importante en la seguridad alimentaria pues es el encargado proveer una suficiencia de productos que sean accesibles a toda la población, generando suficientes ingresos para comprar dichos alimentos y también la suficiente educación para elegirlos responsablemente, a nivel micro juega también un importante papel la seguridad alimentaria en los hogares por la diversificación de las fuentes de ingreso, del abastecimiento y en dependencia también de número de habitantes de una familia (Aguirre, 2004, pp. 1-15).

El concepto de seguridad alimentaria debe diferenciarse del abastecimiento alimentario, pues éste sólo considera la disponibilidad de alimentos, independientemente de su procedencia, importaciones o producción, e implica riesgos graves y latentes, también es importante el acceso y el consumo de los mismos. La lucha contra el hambre tiene un marcado carácter rural, lo que hace necesarios programas que abarquen la producción, el acceso, la disponibilidad y la salubridad de los alimentos.

#### **2.2.10.1. Seguridad alimentaria en Ecuador**

Algunos autores manifiestan que la tendencia histórica de la agricultura en Ecuador ha sido la búsqueda de rentabilidad, lo que se opone a los objetivos nacionales de abastecimiento y suficiencia alimentaria. Esto sumado a que, en la última década se ha experimentado mayor variabilidad en la disponibilidad y acceso, por la falta física de alimentos, como por la volatilidad de precios debido a incidencias de sequías, inundaciones, plagas y enfermedades, como consecuencia de una mayor variabilidad climática.

En algunos cantones de la provincia Chimborazo, la producción intensiva de monocultivos han contribuido en gran medida al apareamiento de varios problemas ambientales, negando la posibilidad de alcanzar una agricultura adaptada a los ciclos biogeoquímicos terrestres, exigiendo, por lo tanto, un alto subsidio humano, fertilizantes, herbicidas, fungicidas, etc., cuyos residuos, por lo general, se convierten en agentes de polución y contaminación.

Los sistemas de mono producción agrícola conllevan a una extracción selectiva de nutrientes del suelo, que lo agotan y fuerzan a una reposición vía fertilizantes minerales para recuperar la fertilidad actual, pero arrastran a crecientes niveles de contaminación y eutrofización. Así, las

cuestiones ambientales como heladas, contaminación, sequía, erosión del suelo, entre otros, tienen influencia negativa en el cultivo de productos alimentarios (Andrade y Ayaviri, 2017, pp. 233-242).

### ***2.2.11. Sostenibilidad ambiental***

La sostenibilidad ambiental es el equilibrio que se genera en base a una relación armoniosa entre el ser humano y de la naturaleza que lo rodea y que dicha relación permanezca a lo largo del tiempo, es decir, que sea sustentable. Esto implica que el ser humano sea consciente del impacto que le llega a causar al planeta tierra con sus acciones, ya que se puede tomar diversas alternativas para que promueva el desarrollo económico sin dañar al planeta.

Con esto conseguiremos cuidar el agua, consumir menos energía buscando nuevas fuentes de energía renovables, minimizar el uso de combustible utilizando otros medios de transportes y principalmente fomentaríamos el reciclaje (Fundación WIESE, 2018: 1A).

### ***2.2.12. Bases legales***

El presente trabajo experimental se basa en las normativas de muestreo reflejadas en la norma NTE INEN-CODEX 193:2013: NORMA GENERAL DEL CODEX PARA LOS CONTAMINANTES Y LAS TOXINAS PRESENTES EN LOS ALIMENTOS Y PIENSOS (INEN, 2013, pp. 1-13).

La normativa NTE INEN-CODEX 193:2013, nos indica los límites máximos de contaminantes y sustancias tóxicas que se encuentran en forraje y piensos en los casos en que el contaminante puede ser transferido al alimento de origen animal y que pueden ser pertinentes para la salud pública (INEN, 2013, pp. 1-5).

Dicha normativa va de la mano con nuestra investigación pues al igual que la Normativa EPA, indica la ingesta máxima tolerable provisional en el caso de metales pesados que no tienen propiedades acumulativas, mientras que en los metales pesados que sí poseen propiedades acumulativas nos indica la ingesta semanal tolerable provisional y la ingesta mensual tolerable provisional (Codex Stan, 1995, pp. 11-13).

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Materiales, equipos y reactivos

##### 3.1.1. Equipos

- Agitador (shaker) mecánico
- Balanza analítica
- Cabina de extracción
- Centrifuga
- Conductímetro
- Cronometro
- Densímetro de Bouyoucos
- Equipo de Filtración (Bomba de vacío, embudo Buchner, Kitasato)
- Estufa de secado con ventilación forzada
- Microbalanza analítica
- Micropipeta
- Mufla
- pH-metro
- Reverbero
- Sorbona
- Termómetro digital
- Triturado y/o molino

##### 3.1.2. Materiales

- Balón de aforo de 50ml
- Balones aforados de diferentes volúmenes
- Bureta de 50ml
- Crisol de porcelana
- Desecador de vidrio
- Embudo de vidrio
- Embudo de vidrio
- Espátula y/o cucharilla



- Filtro de membrana de 47 mm y 0.45  $\mu\text{m}$  de porosidad
- Gradilla para tubos falcon
- Matraz Erlenmeyer de 250ml
- Mortero y pistilo
- Papel filtro
- Papel filtro Whatman grado 41
- Pinza para crisol
- Pipetas automáticas de volumen variado y/o con sus respectivas puntas
- Pipetas volumétricas de vidrio de diferentes volúmenes con pera de succión
- Piseta
- Probeta graduada de 100 ml
- Probeta graduada de 25 ml
- Probeta graduada de 50 ml
- Probeta graduada de 1000 ml
- Soporte para embudo de vidrio
- Soporte y pinza para bureta
- Tamiz
- Tubos falcon de 50ml
- Varilla de agitación
- Vasos de precipitación de 50 o 200 ml
- Vidrio de reloj

### **3.1.3.Reactivos**

- $\text{AgNO}_3$  (nitrato de plata) 0,01N
- Agua acidulada 10% de HCl
- Agua destilada
- $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  (acetato de amonio) 1M
- Estándar de Arsénico (As)
- Estándar de Cadmio (Cd)
- Estándar de Calcio (Ca)
- Estándar de Cobre (Cu)
- Estándar de Cromo (Cr)
- Estándar de Hierro (Fe)
- Estándar de Manganeseo (Mn)

- Estándar de Mercurio (Hg)
- Estándar de Plomo (Pb)
- Estándar de Potasio (K)
- Estándar de Selenio (Se)

### 3.2. Metodología

Las zonas de muestreo se determinaron mediante la revisión de información bibliográfica encontrada en la base de datos del Instituto Geofísico de la ESPOL, Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de los cantones de la provincia y reportes de caída de ceniza en diferentes diarios digitales, donde se documentaba cantones, parroquias y comunidades dentro de Chimborazo afectadas de alguna manera por la caída de ceniza evacuada por la actividad del volcán Tungurahua.

En cuanto a la información obtenida para el desarrollo de la investigación, se recopiló aplicando un total de 85 encuestas a los habitantes de las diferentes parroquias de los cantones Guano y Guamote de la provincia de Chimborazo, con el objetivo de conocer aspectos relevantes sobre las actividades agrícolas y ganaderas practicadas en los sectores muestreados.



**Ilustración 1-3:** Realización de encuestas iniciales

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

### **3.3. Análisis de datos**

Toda la información recabada de las encuestas realizadas en las zonas de muestreo se organizó, cuantificó y tabuló en una hoja de cálculo. Se realizó una síntesis de las respuestas obtenidas tanto para preguntas cerradas como semiabiertas. Posteriormente, en base al análisis de esta información, se llegó a las conclusiones de interés para el estudio referentes principalmente a las condiciones de producción agrícola y ganadera, utilización de pesticidas, fertilizantes y plaguicidas, destino de los desechos de origen animal y vegetal, procedencia y tecnificación en el uso del agua de riego, así como costos de producción e ingresos netos.

### **3.4. Diseño experimental del muestreo**

La Organización Panamericana de la Salud (OPS) menciona a la provincia de Chimborazo como una de las zonas afectadas por la caída de ceniza tras la reactivación del volcán Tungurahua, en el año 2006 con un total de 320 000 personas perjudicadas. En cuanto a la caída de ceniza, en el cantón Guano se reportó como intensa mientras que en los cantones Guamote, Alausí y Chunchi fue moderada (OPS, 2006, pp. 1 – 4).

La evaluación del contenido de metales pesados se realizó en muestras de suelo, forraje y alimentos de origen agrícola y animal tomadas en diferentes parroquias de los cantones Guano, Chunchi, Alausí y Guamote, dentro de la provincia de Chimborazo, zonas referenciadas en la bibliografía con impactos a diferentes niveles por la caída de ceniza volcánica.

Se tomó un total de 15 muestras por cada matriz, teniendo un total de 45 entre suelo, forraje y alimento. Mitra et al. (2022, pp. 1 – 21) indica que es importante evaluar el contenido de metales, tanto en suelos como en los cultivos, ya que la composición del suelo es uno de los factores que influyen en la transferencia de elementos traza dentro de la cadena suelo – planta como parte de su ciclo bioquímico.

Otra consideración importante es aportada por Rueda et al. quienes manifiestan que cuando se supera la capacidad tampón por una carga continua de contaminantes que alteran el pH del suelo, los metales pesados pueden quedar biodisponibles para ser absorbidos por las plantas a través de las raíces (2011, pp. 203-217).

Con estos antecedentes, en suelo se determinó las variables contenido de materia orgánica, textura, densidad real y aparente, metales pesados, relación carbono/nitrógeno, fósforo, potasio, conductividad eléctrica y potencial de hidrógeno mientras que en pasto se determinó contenido de materia orgánica, metales pesados, relación carbono/nitrógeno, fósforo, sodio, potasio, conductividad eléctrica y potencial de hidrógeno. En raíces y alimentos se cuantificaron únicamente metales pesados.

Conociendo la concentración de metales pesados, se determinaron los factores de bioconcentración (BCF), biotransferencia (BTF) y traslocación (TF) como indicadores del ingreso de metales pesados a la cadena trófica, del suelo a la biomasa y finalmente a los alimentos consumidos por la población (Castro et al., 2018, pp. 466-485).

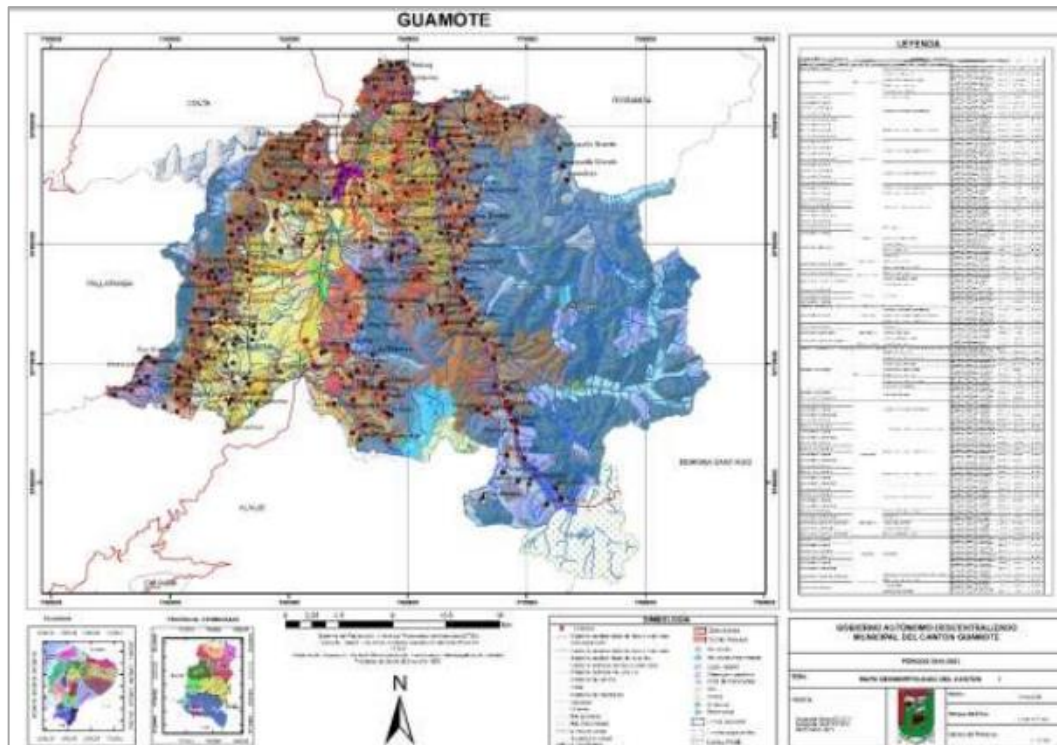
El impacto para la salud en la población se evaluó mediante la estimación del coeficiente de peligro objetivo (THQ), índice de peligro (HI) e ingesta diaria estimada (EDI), los que permitieron conocer si el consumo de productos alimenticios cultivados y obtenidos en los puntos muestreados, es seguro para la población con respecto a la presencia de metales pesados (Rodríguez, 2018, pp. 22 – 24).

### **3.5. Localización del estudio**

#### ***3.5.1. Cantón Guamote***

##### *3.5.1.1. Generalidades*

Posee una superficie total de 1221,8 Km<sup>2</sup> que representa el 18.5% del total de la provincia de Chimborazo, con una altitud entre 2.600 y los 4.500 m.s.n.m. Está ubicado en la parte central del callejón interandino, la cabecera cantonal se encuentra a 50 km de la ciudad de entre Riobamba. Su topografía se caracteriza por un clima frío y se ubica en un ecosistema de páramo. La temperatura promedio en Guamote varía entre los 9 a 10 °C pudiendo variar debido a los cambios climáticos que ocurren de octubre a mayo, período en el cual predomina el clima de invierno húmedo y frío, mientras tanto, en los meses de junio a septiembre predomina el verano cálido, seco y ventoso. Limita al Norte: Cantones Colta y Riobamba; Sur: Cantón Alausí; Este: Provincia de Morona Santiago; Oeste: Cantón Pallatanga (GAD Municipal de Guamote, 2019, p. 230).



**Ilustración 2-3:** Mapa político del cantón Guamote

**Fuente:** (GAD Municipal de Guamote, 2019, p. 230).

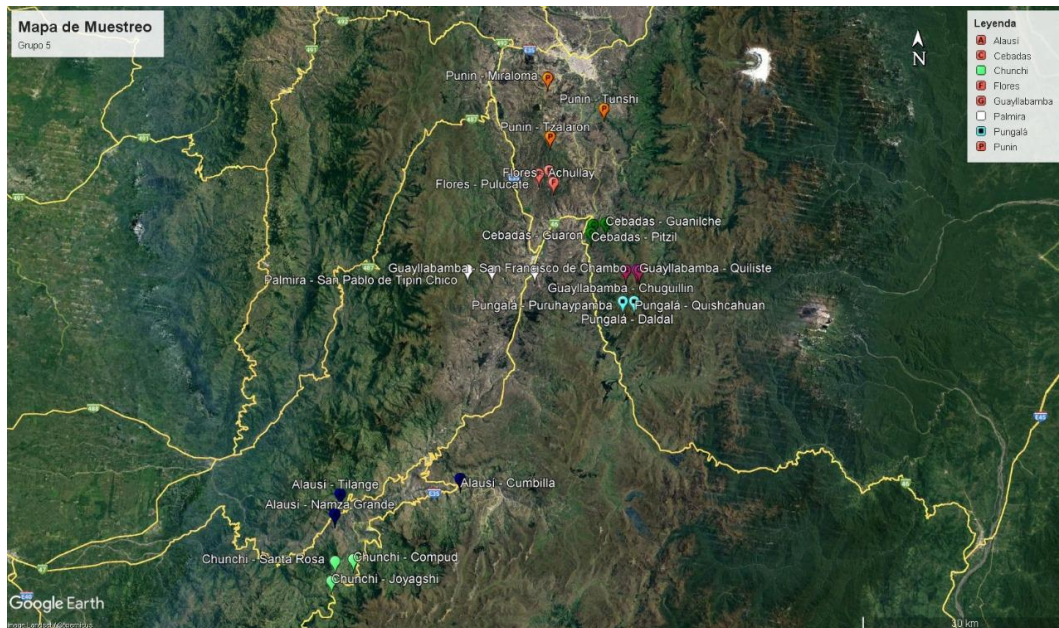
### 3.5.2. Cantón Guano

#### 3.5.2.1. Generalidades

Guano ocupa una superficie de 473.3 km<sup>2</sup>, lo que representa el 7% del territorio de la provincia de Chimborazo. Ubicada al norte de la provincia de Chimborazo, en la zona Sierra Centro, se encuentra a una distancia de 8 km del cantón Riobamba, a una altitud de 2.720 m.s.n.m. Limita al Norte con la provincia de Tungurahua, al sur con el cantón Riobamba, al este con el río Chambo y al oeste con el cantón Riobamba y una pequeña parte de la provincia de Bolívar. Cuenta con una población de 42 000 habitantes. El clima del cantón es templado, con características de valle interandino. su temperatura varía de los 10° C a 20° C, con una precipitación promedio anual de 31,15 mm (GAD Municipal del Cantón Guano, 2019, pp. 21).







**Ilustración 4-3:** Mapa de los puntos de muestreo en la provincia de Chimborazo

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

El muestreo de suelo y forraje se realizó entre los meses de abril y mayo mientras que las muestras de alimentos en el mes de junio. Los diferentes análisis fueron realizados en el laboratorio de Impactos Ambientales del Grupo de Investigación GAIBAQ y Laboratorio de Productos Naturales de la Facultad de Ciencias, de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), cantón Riobamba, provincia de Chimborazo.

### **3.6.1. Método de muestreo**

El método empleado en nuestra investigación fue el probabilístico aleatorio simple, donde se tomó 10 puntos equidistantes que abarcaron la zona estudiada en las diferentes parroquias de los cantones Guano, Chunchi, Alausí y Guamate.

Para muestrear, una vez seleccionado el lugar se procedió a tomar suelo a una profundidad de 50 cm con ayuda de un barreno para obtener así un peso final de 2kg, este se colocó posteriormente en fundas plásticas con cierre hermético, cada una se etiquetó adecuadamente. Se procedió de la misma forma en todos los puntos obteniendo un total de 15 muestras de suelo.



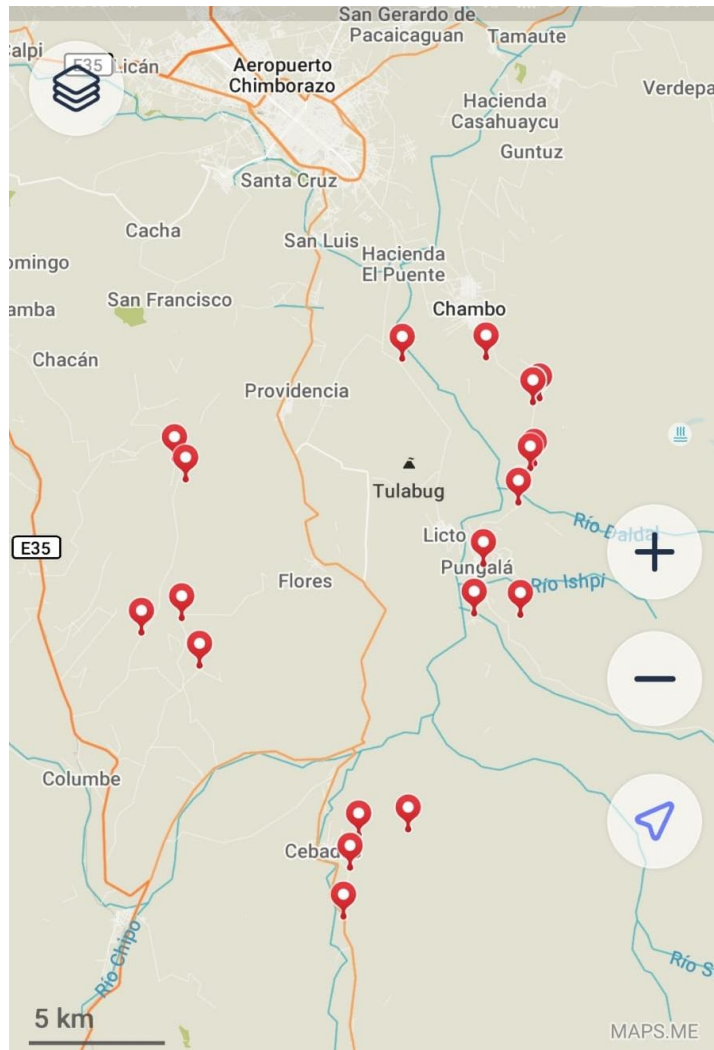
**Ilustración 5-3:** Toma de muestra de suelo en diferentes zonas de la provincia de Chimborazo.

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

Las muestras de biomasa fueron tomadas en los mismos puntos donde se tomó las muestras de suelo. Se recolectó cantidad abundante de hojas y tallos de pasto y especies de interés agrícola como maíz, papa, coliflor, entre otras. Se recolectaron también muestras de productos agrícolas alimenticios y aproximadamente 1kg de raíces en cada punto de muestreo. Todo se colocó por separado en fundas herméticas para etiquetarse adecuadamente y transportarse para su procesamiento obteniendo un total de 15 muestras de tallos y hojas, 15 de productos agrícolas y 15 de raíces.

Se registró las coordenadas de altitud y latitud del lugar donde se tomó la muestra con la ayuda de la aplicación MAPS.ME, todos los datos obtenidos se registraron en una ficha de muestreo.





**Ilustración 6-3:** Coordenadas de los lugares seleccionados para el muestreo.

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

**Tabla 1-3:** Coordenadas de los puntos de muestreo

Nº	Cantón	Sector de muestreo	Coordenadas
1	Guamote	4 Esquinas	-1.816988, -78.644532
2	Guamote	Cecel	-1.814977, -78.642283
3	Guamote	Pitzil	-1.851024, -78.633516
4	Guamote	San Antonio	-1.920292, -78.640591
5	Guamote	Vía Oriente	-1.941768, -78.631047
6	Guamote	Tunshi Grande	-1.921841, -78.638324
7	Chambo	Guayllabamba	-1.765221, -78.574271
8	Chunchi	Shalapud	-2.278557, -78.916117
9	Alausí	Pistishí	-2.251994, -78.876732

10	Guano	San Gerónimo	-1.607104, -78.593423
11	Guano	San José de Chocón	-1.593704, -78.585108
12	Guano	El Llano	-1.579984, -78.577879
13	Guano	Santa Rosa de Cullo	-1.575638, -78.577684
14	Guano	Santa Rosa de Cullo	-1.565293, -78.581867
15	Guano	Valparaíso	-1.572346, -78.600153

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

### 3.6.2. Aplicación de encuestas

De igual manera, se aplicó encuestas a los habitantes de cada uno de los puntos muestreados y en zonas cercanas con la finalidad de obtener información relevante para la evaluación de los riesgos en la salud de los pobladores de las parroquias en estudio.

### 3.6.3. Preparación de las muestras

El total de muestras de suelo, biomasa, raíces y alimentos se transportaron y almacenaron en el laboratorio para su posterior procesamiento.



**Ilustración 7-3:** Muestras de biomasa transportadas al laboratorio para procesarse.

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

### 3.6.4. Secado de las muestras

Una vez en el laboratorio, las muestras de suelo se colocaron en bandejas, se etiquetaron adecuadamente y se colocaron en un lugar seco con ventilación suficiente para dejarlas secar durante aproximadamente dos semanas a temperatura ambiente. Las muestras vegetales fueron

secadas en bandejas dentro de una estufa con ventilación forzada a 60°C durante 48 horas. Transcurrido este tiempo, se trocearon y almacenaron para ser trituradas.

### ***3.6.5. Triturado de las muestras***

Una vez totalmente secas las muestras fueron colocadas en el molino para su trituración procurando que no haya pérdida. Se colocó una funda plástica de basura alrededor del molino donde se recogió el polvo y un basurero debajo del molino para el sobrante. Después de cada uso del molino, se procedió a limpiarlo para evitar contaminación. Finalmente se colocó el material triturado en fundas plásticas con cierre hermético, se rotularon correctamente y almacenaron en un lugar seco.



**Ilustración 8-3:** Trituración de las muestras

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

## **3.7. Análisis físico químico del suelo**

### ***3.7.1. Determinación de materia orgánica***

El método utilizado para determinación de materia orgánica es la oxidación de carbono orgánico por calcinación. Primero, se etiquetó cada crisol con un lápiz y se procedió a pesar el crisol vacío,

anotándolo como P<sub>1</sub>. A continuación, se pesaron 3g de muestra de suelo triturada y seca, se registró anotó como P<sub>2</sub>. Posteriormente se los llevó a la estufa a 90 °C por 2 horas.

Transcurrido el tiempo, se colocaron las muestras en el desecador por 30 minutos para que se estabilice el peso, se procedió a pesar en balanza analítica y se llevó a la mufla por 24 h a 430 °C, cumplido este tiempo se colocó en el desecador por 15 minutos para finalmente pesar los crisoles registrando el valor como P<sub>3</sub>.

$$\%MO = \frac{P_2 - P_3}{P_2 - P_1} \times 100$$

Donde:

- P<sub>1</sub>= Peso del crisol tarado
- P<sub>2</sub>= Peso del crisol + muestra seca
- P<sub>3</sub>= Peso del crisol + muestra calcinada



**Ilustración 9-3:** Determinación de materia orgánica de muestras de suelo.

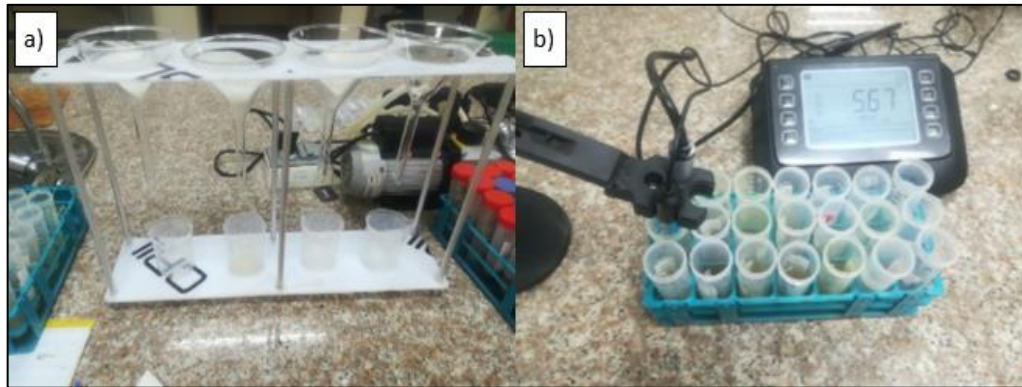
**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

### ***3.7.2. Determinación de pH***

Para la determinación de pH primero se trituró la muestra en un mortero y se tamizó con un tamiz de 2 mm de diámetro, posteriormente se pesó 4g de muestra en tubos Falcon de 50 ml y se añadió

40 ml de agua destilada (relación 1:10). Luego de eso se colocó los tubos en el shaker (agitador) durante 2 horas a 300 rpm.

Transcurrido el tiempo de agitación, los tubos se llevaron a la centrifuga por 15 minutos, se filtró el sobrenadante en un embudo de vidrio con papel filtro. Finalmente se midió el pH en el líquido filtrado.



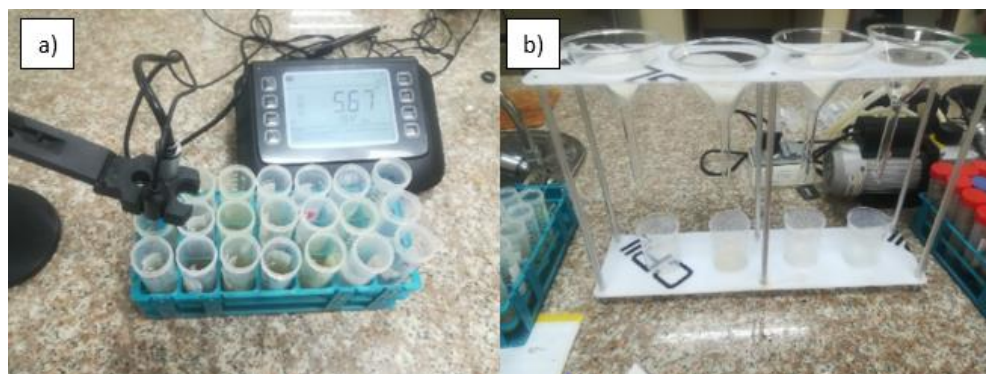
**Ilustración 10-3:** a) Separación de la muestra centrifugada: b) medición del pH.

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

### 3.7.3. Determinación de conductividad eléctrica

Para la determinación de la conductividad eléctrica primero se trituró la muestra en un mortero y se tamizó con un tamiz de 2 mm de diámetro, posteriormente se pesó 4g de muestra en tubos Falcon de 50 ml y se añadió 40 ml de agua destilada (relación 1:10). Luego de eso se colocó los tubos en el shaker (agitador) durante 2 horas a 300 rpm.

Transcurrido el tiempo de agitación, los tubos se llevaron a la centrifuga por 15 minutos, se filtró el sobrenadante en un embudo de vidrio con papel filtro. Finalmente se midió la conductividad eléctrica en el líquido filtrado.



**Ilustración 11-3:** Separación de la muestra centrifugada y medición de la conductividad eléctrica.

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

### ***3.7.4.Determinación de Densidad Real***

En cuanto a la determinación de densidad real, se pesó en una balanza analítica un balón aforado de 50 ml vacío, limpio y seco. Se registró el valor teniendo el P1 (Peso 1) para posteriormente colocar 10 g de muestra de suelo secado a temperatura ambiente. Se registró el peso obteniendo P2 (Peso 2). Luego se añadió 25 ml de agua destilada lavando las paredes del balón y se agitó por 5 min. Transcurrido el tiempo, se aforó al volumen y se dejó reposar por 30 min, se pesó el balón aforado y con la muestra de suelo para tener P3 (Peso 3). Finalmente, se aforó el mismo balón con agua destilada y se registró su peso para P5 (Peso 4).

La densidad real se calculó en base a la siguiente fórmula:

$$Dens. Real \left( \frac{g}{ml} \right) = \frac{P2 - P1}{(P4 - P1) - (P3 - P2)}$$

Donde:

- **P<sub>1</sub>**= Peso del balón de aforo vacío
- **P<sub>2</sub>**= Peso del balón + muestra
- **P<sub>3</sub>**= Peso del balón + muestra + volumen de agua de aforo
- **P<sub>4</sub>**= Peso del balón aforado con agua destilada

### ***3.7.5.Determinación de Densidad Aparente***

Para determinar la densidad aparente, se pesó una probeta de 50 ml limpia y seca en una balanza analítica (P1), luego se colocó una cantidad de muestra de suelo correspondiente a un volumen de 20 ml (V), se pesó y registró su valor (P2). La densidad aparente se calculó de la siguiente manera:

$$\%MO = \frac{P_2 - P_1}{V} \times 100$$

Donde:

- **P<sub>1</sub>**= Peso de la probeta de 50 ml limpia y seca
- **P<sub>2</sub>**= Peso de la probeta + muestra de suelo
- **V**= Volumen medido de la muestra

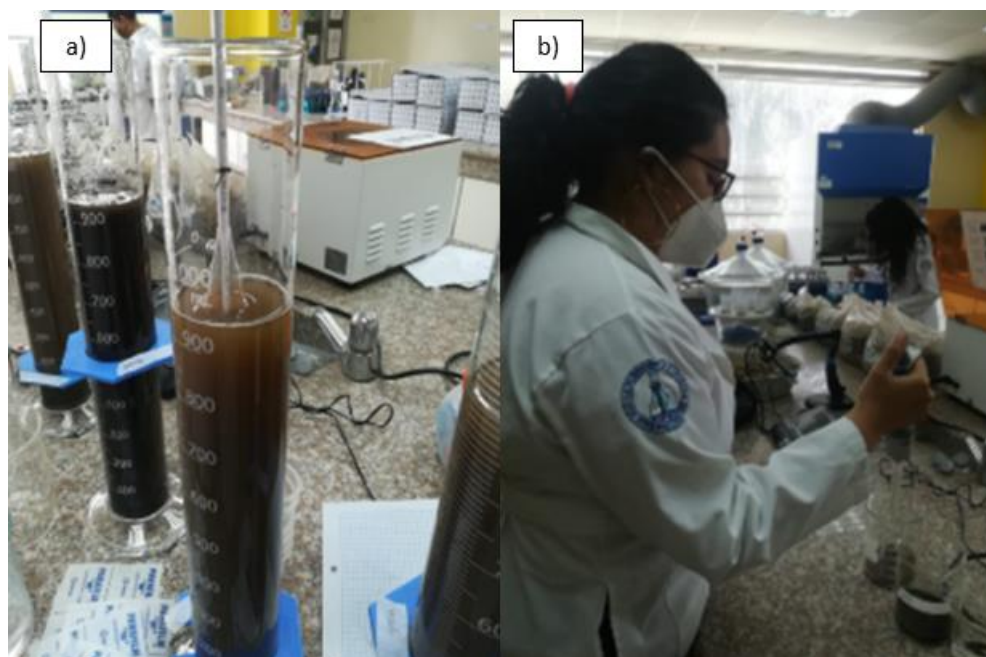
### ***3.7.6.Determinación de textura***

Se pesó 100g de suelo seco y tamizado en un vaso de precipitación previamente rotulado, seguido de eso se colocó 10 ml del agente dispersante (solución de 20g de carbonato de sodio, 75g de hexametáfosfato de sodio en 1.62 L de agua destilada), a continuación, se añadió 200 ml de agua



destilada, se mezcló con una varilla de agitación por unos minutos y se procedió a tapar para dejarlo reposar 24 h.

Transcurrido el tiempo el contenido se trasvasó a una probeta de 1000 ml lavando con agua destilada a chorros el vaso de precipitación y la probeta para evitar restos de muestra, posteriormente se aforo a 1000 ml. Seguidamente con ayuda de un Parafilm se cubrió la parte superior de la probeta y se lo agitó enérgicamente la suspensión por aproximadamente un minuto, se colocó en una superficie plana y a se sumergió el termómetro para topar la temperatura, seguidamente se sumergió el hidrómetro por 40 segundos, tiempo que fue tomado con un cronómetro. Se dejó reposar por 2 h y se sumergió nuevamente el termómetro y el hidrómetro por 40 segundos.



**Ilustración 12-3:** a) Determinación de textura de los suelos mediante el hidrómetro;  
b) Lavado de muestra

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

### ***3.7.7. Determinación de aniones***

Para la determinación de aniones, se realizó extractos acuosos pesando aproximadamente 2g de cada muestra de suelo seco y triturado en tubos falcon. A cada tubo se le adicionó 50ml de agua destilada (relación 1:25) y se agitó en el shaker durante 2 horas a 300 rpm.

Transcurrido el tiempo de agitación, los tubos se llevaron a la centrifuga por 10 minutos, se filtró el sobrenadante al vacío. Los extractos acuosos filtrados se almacenaron en recipientes estériles.

### 3.7.7.1. Fosfatos

La cuantificación de fosfatos se realizó en un espectrofotómetro UV visible de marca HACH DR 2800. La determinación se realizó tomando como blanco 10ml de extracto en la celda con lo cual se encendió el equipo. A la celda se le agregó el reactivo sólido PhosVer agitando suavemente dejando reposar durante 2 minutos. Una vez que la muestra tomó coloración azul en la celda, se leyó al equipo el cual reportó la concentración de fosfatos en mg/L.

### 3.7.7.2. Nitratos

La cuantificación de nitratos se realizó en un espectrofotómetro UV visible de marca HACH DR 2800. La determinación se realizó tomando como blanco 10ml de extracto en la celda con lo cual se encendió el equipo. A la celda se le adicionó el reactivo sólido NitraVer agitando suavemente dejando reposar durante 2 minutos. Una vez que la muestra tomó coloración amarilla se leyó al equipo el cual reportó la concentración de nitratos en mg/L.

### 3.7.7.3. Sulfatos

La cuantificación de sulfatos se realizó en un espectrofotómetro UV visible de marca HACH DR 2800. La determinación se realizó tomando como blanco 10ml de extracto en la celda con lo cual se encendió el equipo. A la celda se le adicionó el reactivo sólido SulfaVer agitando suavemente dejando reposar durante 2 minutos. Una vez que la muestra se tornó algo blanquecina se leyó al equipo el cual reportó la concentración de sulfatos en mg/L.

### 3.7.7.4. Cloruros

Los cloruros fueron determinados en el extracto acuoso preparado inicialmente mediante titulación argentométrica. Se tomó 1ml del extracto en un balón aforado de 50ml seco y limpio completando su volumen hasta aforo con agua destilada. Se tomó 25ml con una pipeta volumétrica y se transfirió a un matraz Erlenmeyer de 250ml. Como valorante se empleó una solución de  $\text{AgNO}_3$  0,01 N en una bureta de 50ml. Se adicionó 3 gotas de indicador y se procedió a valorar cada muestra hasta viraje de color amarillo a ladrillo. Se reportó los volúmenes de titulante y se determinó la concentración de cloruros en mg/ml y en kg/L mediante la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{Cl}^- = \frac{(Vt - Vb) * Nt * 35,45}{Vm} * 1000$$

Donde:



- **V<sub>t</sub>**= Volumen de titulante en ml
- **V<sub>b</sub>**= Volumen de titulante para el blanco en ml
- **N<sub>t</sub>**= Normalidad de titulante
- **V<sub>m</sub>** = Volumen de la muestra en ml

### 3.7.8. Digestión ácida para determinación de minerales y metales pesados

La digestión es un paso previo para la determinación de metales pesados puesto que nos garantiza la destrucción de la MO de las muestras de biomasa, para ello se pesó 2g de biomasa previamente seca y tamizada, se lo colocó en un Erlenmeyer de 250ml previamente rotulado, se añadieron 10ml de HNO<sub>3</sub> concentrado y unas gotas de agua destilada, se tapó con un vidrio reloj y se procedió a calentar por 2h.

Transcurrido el tiempo se apagó el reverbero a una temperatura menor a 83 °C y se añadió 3ml de peróxido por una de las paredes del Erlenmeyer. Se calentó por 2h más.



**Ilustración 13-3:** Digestión de muestras de suelo

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

Posteriormente se enfrió y el contenido filtrado se colocó en un balón de aforo de 50ml y enrasando con agua destilada. Finalmente se envasó la muestra en unos recipientes previamente rotulados y se los almacenó en refrigeración para su posterior análisis por EAA de llama.



**Ilustración 14-3:** Refrigeración de muestras para posterior análisis por EAA de llama.

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

### ***3.7.9. Determinación de macronutrientes***

#### ***3.7.9.1. Potasio (K)***

Para la determinación de potasio, se preparó una solución madre una concentración de 10 mEq/l de K a partir de KCl. Esta se diluyó hasta obtener patrones de 0.0; 0,05; 0,10; 0,15 y 2 mEq/l. Los patrones se leyeron en un espectrómetro de absorción atómica posterior a la lectura de un blanco de agua destilada. Se registró las absorbancias en base a las cuales se elaboró la curva de calibración de manera automática en el sistema informático acoplado al equipo. Las muestras de suelo digestadas se leyeron de manera similar que los patrones registrando los valores de concentración para la determinación del porcentaje de potasio.

#### ***3.7.9.2. Sodio (Na)***

En la determinación de sodio, se preparó una solución madre una concentración de 10ppm del elemento a partir del STOCK de 1000ppm. Esta se diluyó hasta obtener patrones de 0,2; 0,4; 0,8; 1,5 y 2ppm. Los patrones se leyeron en un espectrómetro de absorción atómica marca Thermo SCIENTIFIC posterior a la lectura de un blanco de agua destilada. Se registró las absorbancias en base a las cuales se elaboró la curva de calibración de manera automática en el sistema informático acoplado al equipo. Las muestras de suelo digestadas se leyeron de manera similar que los patrones registrando los valores de concentración para la determinación del porcentaje de sodio.

### *3.7.9.3. Fósforo (P)*

En las muestras de suelo, el fósforo se determinó por el método de espectrofotometría UV-VIS. Inicialmente se preparó una solución madre con  $\text{H}_2\text{KPO}_4$  a concentración 1000ppm de P. De la solución madre se tomaron 0,25 ml y se aforaron a 50 ml para tener un estándar de 20 ppm. A partir del estándar se preparó diluciones de 0,1; 0,4; 0,8; 1,2 y 2 ppm.

A la par, en un balón de aforo de 100ml se disolvió 6 g de molibdato de amonio en 20ml de agua desionizada añadiendo también 0,1455g de tartrato de antimonio y potasio. Se agitó hasta disolución completa y se adicionó 70ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado. Posterior a la estabilización de temperatura se aforó hasta un volumen de 100ml. La segunda solución se preparó disolviendo en un balón de aforo de 100ml 13,2g de ácido ascórbico en agua destilada completando hasta la línea de aforo.

Con estas dos soluciones se preparó la solución de trabajo. En un balón de aforo de 500ml se colocó 7,5ml de la primera solución, 5ml de la segunda solución, 400ml de agua destilada y se llevó hasta el aforo. Se agitó y almacenó en refrigeración.

Para conocer la concentración de fósforo se preparó los estándares en vasos de precipitación de 50ml añadiendo 5ml de solución de trabajo y 5ml de cada una de las diluciones patrón. La medición espectrofotométrica se realizó a una longitud de onda de 880nm. Se registró las absorbancias en base a las cuales se elaboró la curva de calibración. Las muestras digeridas recibieron el mismo tratamiento registrando como resultado final la concentración de P en mg/l.

### ***3.7.10. Determinación de metales pesados***

#### *3.7.10.1. Arsénico (As)*

Previa determinación de arsénico se preparó la solución reductora conteniendo solución al 10% m/v de yoduro de potasio y solución 10% m/v de ácido ascórbico. Para la preparación de cada muestra se tomó 1ml de digerido y se llevó a un volumen de 16ml, se añadieron 2ml de solución reductora y 2ml de ácido clorhídrico concentrado. Además, se prepararon también solución 0,5% de hidróxido de sodio y solución 0,6% de borohidruro de sodio ya que el análisis de arsénico se realiza por generación de hidruros.

A partir del estándar de arsénico de concentración 1000 ppm se preparó la solución madre con 1ppm del metal. De ésta, se tomaron los volúmenes necesarios para obtener soluciones patrón a concentraciones de 0,005; 0,01; 0,02; 0,04 y 0,05ppm. El análisis se realizó mediante espectrometría de absorción atómica en un equipo de marca Thermo SCIENTIFIC iCE 3000 AA05170304 v1, 30. Se colocó la lámpara de cátodo hueco de arsénico y se configuró el equipo para el análisis. Se leyó el blanco de agua y las soluciones estándar preparadas anteriormente con

lo cual se elaboró la curva de calibración de manera automática en el software informático acoplado. Finalmente se analizaron las muestras de suelo por triplicado obteniendo la concentración de arsénico en unidades de  $\mu\text{g/L}$ .

#### 3.7.10.2. Selenio (Se)

Para el análisis de selenio, se tomaron 5ml de cada digestado. Se adicionó 5ml de ácido clorhídrico concentrado y se calentaron a  $90^{\circ}\text{C}$  durante 30min. Además, se prepararon también soluciones 0,5% de hidróxido de sodio, 0,6% de borohidruro de sodio y 10% v/v de ácido clorhídrico ya que el análisis de arsénico se realiza por generación de hidruros.

A partir del estándar de selenio de concentración 1000 ppm se preparó la solución madre con 1ppm del metal. De ésta, se tomaron los volúmenes necesarios para obtener soluciones patrón a concentraciones de 0,01; 0,02; 0,03; 0,04 y 0,05ppm. El análisis se realizó mediante espectrometría de absorción atómica en un equipo de marca Thermo SCIENTIFIC iCE 3000 AA05170304 v1, 30. Se colocó la lámpara de cátodo hueco de selenio y se configuró el equipo para el análisis. Se leyó el blanco de agua y las soluciones estándar preparadas anteriormente con lo cual se elaboró la curva de calibración de manera automática en el software informático acoplado. Finalmente se analizaron las muestras de suelo por triplicado obteniendo la concentración de selenio en unidades de  $\mu\text{g/L}$ .

#### 3.7.10.3. Plomo (Pb)

A partir del estándar de plomo de concentración 1000 ppm se preparó la solución madre con 40 ppm del metal. De ésta, se tomaron los volúmenes necesarios para obtener soluciones patrón a concentraciones de de 0.4; 0.8; 1.2; 2 y 4 ppm.

El análisis se realizó mediante espectrometría de absorción atómica en un equipo de marca Thermo SCIENTIFIC iCE 3000 AA05170304 v1, 30. Se colocó la lámpara de cátodo hueco de plomo y se configuró el equipo a 217nm. Se leyó el blanco de agua y las soluciones estándar preparadas anteriormente con lo cual se elaboró la curva de calibración de manera automática en el software informático acoplado. Finalmente se analizaron las muestras de suelo, biomasa, raíces y alimentos por triplicado obteniendo la concentración de plomo en unidades de  $\text{mg/L}$ .

#### 3.7.10.4. Cadmio (Cd)

A partir del estándar de cadmio de concentración 1000 ppm se preparó la solución madre con 2 ppm del metal. De ésta, se tomaron los volúmenes necesarios para obtener soluciones patrón a concentraciones de 0.02; 0.04; 0.06; 0.1 y 0.2 ppm.

El análisis se realizó mediante espectrometría de absorción atómica en un equipo de marca Thermo SCIENTIFIC iCE 3000 AA05170304 v1, 30. Se colocó la lámpara de cátodo hueco de cadmio y se configuró el equipo a 228.8nm. Se leyó el blanco de agua y las soluciones estándar preparadas anteriormente con lo cual se elaboró la curva de calibración de manera automática en el software informático acoplado. Finalmente se analizaron las muestras de suelo, biomasa, raíces y alimentos por triplicado obteniendo la concentración de cadmio en unidades de mg/L.

#### *3.7.10.5. Mercurio (Hg)*

A partir del estándar de mercurio de concentración 1000 ppm se preparó la solución madre con 1000ppb del metal. De ésta, se tomaron los volúmenes necesarios para obtener soluciones patrón a concentraciones de 4, 10, 20, 30 y 40ppb.

El análisis se realizó mediante espectrometría de absorción atómica en un equipo de marca Thermo SCIENTIFIC iCE 3000 AA05170304 v1, 30. Se colocó la lámpara de cátodo hueco de mercurio y se configuró el equipo a 253.7nm. Se leyó el blanco de agua y las soluciones estándar preparadas anteriormente con lo cual se elaboró la curva de calibración de manera automática en el software informático acoplado. Finalmente se analizaron las muestras de suelo, biomasa, raíces y alimentos por triplicado obteniendo la concentración de mercurio en unidades de µg/L.

### ***3.7.11. Determinación de micronutrientes***

#### *3.7.11.1. Hierro (Fe)*

A partir del estándar de hierro de concentración 1000ppm se preparó la solución madre con 50ppm del metal. De ésta, se tomaron los volúmenes necesarios para obtener soluciones patrón a concentraciones de 0,2; 0,5; 1,0; 2,0 6 3,0ppm.

El análisis se realizó mediante espectrometría de absorción atómica en un equipo de marca Thermo SCIENTIFIC iCE 3000 AA05170304 v1, 30. Se colocó la lámpara de cátodo hueco de hierro y se configuró el equipo para el análisis. Se leyó el blanco de agua y las soluciones estándar preparadas anteriormente con lo cual se elaboró la curva de calibración de manera automática en el software informático acoplado. Finalmente se analizaron las muestras de suelo por triplicado obteniendo la concentración de hierro en unidades de mg/L.

#### 3.7.11.2. *Cobre (Cu)*

A partir del estándar de cobre de concentración 1000ppm se preparó la solución madre con 5ppm del metal. De ésta, se tomaron los volúmenes necesarios para obtener soluciones patrón a concentraciones de 0,02; 0,05; 0,1; 0,2 y 0,5ppm.

El análisis se realizó mediante espectrometría de absorción atómica en un equipo de marca Thermo SCIENTIFIC iCE 3000 AA05170304 v1, 30. Se colocó la lámpara de cátodo hueco de cobre y se configuró el equipo para el análisis. Se leyó el blanco de agua y las soluciones estándar preparadas anteriormente con lo cual se elaboró la curva de calibración de manera automática en el software informático acoplado. Finalmente se analizaron las muestras de suelo por triplicado obteniendo la concentración de cobre en unidades de mg/L.

#### 3.7.11.3. *Zinc (Zn)*

A partir del estándar de zinc de concentración 1000ppm se preparó la solución madre con 10ppm del metal. De ésta, se tomaron los volúmenes necesarios para obtener soluciones patrón a concentraciones de 0,05; 0,1; 0,2; 0,5 y 1 ppm.

El análisis se realizó mediante espectrometría de absorción atómica en un equipo de marca Thermo SCIENTIFIC iCE 3000 AA05170304 v1, 30. Se colocó la lámpara de cátodo hueco de zinc y se configuró el equipo a para el análisis. Se leyó el blanco de agua y las soluciones estándar preparadas anteriormente con lo cual se elaboró la curva de calibración de manera automática en el software informático acoplado. Finalmente se analizaron las muestras de suelo por triplicado obteniendo la concentración de zinc en unidades de mg/L.

#### 3.7.11.4. *Manganeso (Mn)*

A partir del estándar de manganeso de concentración 25ppm se preparó la solución madre con 25ppm del metal. De ésta, se tomaron los volúmenes necesarios para obtener soluciones patrón a concentraciones de 0,1; 0,25; 0,5; 1,0 y 2,0ppm.

El análisis se realizó mediante espectrometría de absorción atómica en un equipo de marca Thermo SCIENTIFIC iCE 3000 AA05170304 v1, 30. Se colocó la lámpara de cátodo hueco de manganeso y se configuró el equipo para el análisis. Se leyó el blanco de agua y las soluciones estándar preparadas anteriormente con lo cual se elaboró la curva de calibración de manera automática en el software informático acoplado. Finalmente se analizaron las muestras de suelo por triplicado obteniendo la concentración de manganeso en unidades de mg/L.

### 3.7.12. *Determinación de carbono orgánico*

La determinación de carbono orgánico se realizó mediante titulación de Walkley Black. Se pesó aproximadamente 0,2g de suelo tamizado y triturado con ayuda de una balanza analítica y se transfirieron a un matraz Erlenmeyer de 500ml limpio y seco. Posterior se adicionó 10ml de ácido sulfúrico concentrado y 5ml de dicromato de potasio 0,01N medidos volumétricamente, agitando constantemente durante 1min. Se dejó reposar por 30 min para adicionar 50ml de agua destilada, 5ml de ácido ortofosfórico concentrado y 10 gotas de indicador. Finalmente se homogenizó la solución que tomó coloración negra y se tituló con sulfato ferroso 0,01N hasta viraje a coloración verde perlado. Los volúmenes de titulación se registraron para cuantificar el porcentaje de carbono orgánico en base a la siguiente fórmula:

$$\%CO = \frac{(Vb - Vt) * Nt * 0,003 * 100 * FC}{Peso\ de\ la\ muestra\ en\ g}$$

Donde:

- **Vt**= Volumen de titulante en ml
- **Vb**= Volumen de titulante para el blanco en ml
- **Nt**= Normalidad de titulante
- **FC**= Factor de corrección

### 3.7.13. *Determinación de nitrógeno*

El nitrógeno de las muestras de suelo se determinó mediante Kjeldahl. Inicialmente se pesó aproximadamente 2g de muestra en el balón para digestión. Se adicionaron 25ml de ácido sulfúrico, una pastilla de catalizador y una granalla de zinc. Se dejó reposar por 5min y se colocó en el digestor del equipo. Se llevó a ebullición hasta que el contenido del balón tome coloración verde esmeralda. Cuidadosamente se retiró el balón del equipo y se enfrió hasta temperatura ambiente. Luego se colocó el balón en el destilador del equipo conectado a un vaso con 100ml de agua desionizada donde se recogería el destilado. Se dejó destilar hasta alcanzar un volumen final de 200ml en el vaso. Finalmente se tituló el destilado con ácido clorhídrico 0,1N usando como indicador verde de bromocresol hasta observar viraje de verde a rosa. Se registró el volumen de titulante y se calculó el %N con la siguiente fórmula:

$$\%N = \frac{Vtit * NHCl * 14 * 100}{Peso\ de\ la\ muestra\ en\ mg}$$

Donde:

- **Vt**= Volumen de titulante en ml
- **N<sub>HCl</sub>**= Normalidad del ácido clorhídrico

### **3.7.14. Relación carbono – nitrógeno**

La relación C/N se determinó una vez obtenidos los porcentajes de carbono orgánico y nitrógeno de las muestras de suelo mediante la siguiente fórmula:

$$C/N = \frac{\% \text{Carbono orgánico}}{\% \text{Nitrógeno total}}$$

## **3.8. Análisis físico químico de muestras vegetales de alimentos**

### **3.8.1. Determinación de materia orgánica**

El método utilizado para determinación de materia orgánica es la oxidación de carbono orgánico por calcinación. Primero, se etiquetó cada crisol con un lápiz y se procedió a pesar el crisol vacío, anotándolo como P<sub>1</sub>. A continuación, se pesaron 3g de muestra de biomasa triturada y seca, se registró anotó como P<sub>2</sub>. Posteriormente se los llevó a la estufa a 90 °C por 2 horas.

Transcurrido el tiempo, se colocaron las muestras en el desecador por 30 minutos para que se establezca el peso, se procedió a pesar en balanza analítica y se llevó a la mufla por 24 h a 430 °C, cumplido este tiempo se colocó en el desecador por 15 minutos para finalmente pesar los crisoles registrando el valor como P<sub>3</sub>.

$$\%MO = \frac{P_2 - P_3}{P_2 - P_1} \times 100$$

Donde:

- P<sub>1</sub>= Peso del crisol tarado
- P<sub>2</sub>= Peso del crisol + muestra seca
- P<sub>3</sub>= Peso del crisol + muestra calcinada

### **3.8.2. Determinación de pH**

Para la determinación de pH pesó 4g de muestra de biomasa seca y triturada en tubos Falcon de 50 ml y se añadió 40 ml de agua destilada (relación 1:10). Luego de eso se colocó los tubos en el shaker (agitador) durante 2 horas a 100 rpm.

Transcurrido el tiempo de agitación, los tubos se llevaron a la centrifuga por 15 minutos, se filtró el sobrenadante en un embudo de vidrio con papel filtro. Finalmente se midió el pH en el líquido filtrado.



### ***3.8.3. Determinación de conductividad eléctrica***

Para la determinación de conductividad eléctrica se pesó 4g de muestra de biomasa seca y triturada en tubos Falcon de 50 ml y se añadió 40 ml de agua destilada (relación 1:10). Luego de eso se colocó los tubos en el shaker (agitador) durante 2 horas a 300 rpm.

Transcurrido el tiempo de agitación, los tubos se llevaron a la centrifuga por 10 minutos, se filtró el sobrenadante en un embudo de vidrio con papel filtro. Finalmente se midió la conductividad eléctrica en el líquido filtrado.

## **3.9. Análisis de nutrientes de muestras vegetales**

### ***3.9.1. Digestión ácida para determinación de minerales y metales pesados***

La digestión es un paso previo para la determinación de metales pesados puesto que nos garantiza la destrucción de la MO de las muestras de biomasa, para ello se pesó 2g de biomasa previamente seca y tamizada, se lo colocó en un Erlenmeyer de 250ml previamente rotulado, se añadieron 10ml de HNO<sub>3</sub> concentrado y unas gotas de agua destilada, se tapó con un vidrio reloj y se procedió a calentar por 2h.

Transcurrido el tiempo se apagó el reverbero a una temperatura menor a 83 °C y se añadió 3ml de peróxido por una de las paredes del Erlenmeyer. Se calentó por 2h más.



**Ilustración 15-3:** Digestión de muestras de suelo

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

Posteriormente se enfrió y el contenido filtrado se colocó en un balón de aforo de 50ml y enrasando con agua destilada. Finalmente se envasó la muestra en unos recipientes previamente rotulados y se los almacenó en refrigeración para su posterior análisis por EAA de llama.



**Ilustración 16-3:** Refrigeración de muestras para posterior análisis por EAA de llama.

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

### ***3.9.2. Determinación de macronutrientes***

#### ***3.9.2.1. Potasio (K)***

Para la determinación de potasio, se preparó una solución madre una concentración de 10ppm de K a partir del STOCK de 1000ppm. Esta se diluyó hasta obtener patrones de 0,2; 0,4; 0,8; 1,5 y 2ppm. Los patrones se leyeron en un espectrómetro de absorción atómica marca Thermo SCIENTIFIC posterior a la lectura de un blanco de agua destilada. Se registró las absorbancias en base a las cuales se elaboró la curva de calibración de manera automática en el sistema informático acoplado al equipo. Las muestras de parte aérea, tallos, raíces y alimentos digeridas se leyeron de manera similar que los patrones registrando los valores de concentración para la determinación del porcentaje de potasio.

#### ***3.9.2.2. Sodio (Na)***

En la determinación de sodio, se preparó una solución madre una concentración de 10ppm del elemento a partir del STOCK de 1000ppm. Esta se diluyó hasta obtener patrones de 0,2; 0,4; 0,8; 1,5 y 2ppm. Los patrones se leyeron en un espectrómetro de absorción atómica marca Thermo SCIENTIFIC posterior a la lectura de un blanco de agua destilada. Se registró las absorbancias en base a las cuales se elaboró la curva de calibración de manera automática en el sistema informático acoplado al equipo. Las muestras de parte aérea, tallos, raíces y alimentos digeridas

se leyeron de manera similar que los patrones registrando los valores de concentración para la determinación del porcentaje de sodio.

### *3.9.2.3. Fósforo (P)*

En las muestras de biomasa, el fósforo se determinó por el método de espectrofotometría UV-VIS. Inicialmente se preparó una solución madre con  $\text{H}_2\text{KPO}_4$  a concentración 1000ppm de P. De la solución madre se tomaron 0,25 ml y se aforaron a 50 ml para tener un estándar de 20 ppm. A partir del estándar se preparó diluciones de 0,1; 0,4; 0,8; 1,2 y 2 ppm.

A la par, en un balón de aforo de 100ml se disolvió 6 g de molibdato de amonio en 20ml de agua desionizada añadiendo también 0,1455g de tartrato de antimonio y potasio. Se agitó hasta disolución completa y se adicionó 70ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado. Posterior a la estabilización de temperatura se aforó hasta un volumen de 100ml. La segunda solución se preparó disolviendo en un balón de aforo de 100ml 13,2g de ácido ascórbico en agua destilada completando hasta la línea de aforo.

Con estas dos soluciones se preparó la solución de trabajo. En un balón de aforo de 500ml se colocó 7,5ml de la primera solución, 5ml de la segunda solución, 400ml de agua destilada y se llevó hasta el aforo. Se agitó y almacenó en refrigeración.

Para conocer la concentración de fósforo se preparó los estándares en vasos de precipitación de 50ml añadiendo 5ml de solución de trabajo y 5ml de cada una de las diluciones patrón. La medición espectrofotométrica se realizó a una longitud de onda de 880nm. Se registró las absorbancias en base a las cuales se elaboró la curva de calibración. Las muestras digeridas recibieron el mismo tratamiento registrando como resultado final la concentración de P en mg/l.

### *3.9.3. Determinación de metales pesados*

#### *3.9.3.1. Arsénico (As)*

Previa determinación de arsénico se preparó la solución reductora conteniendo solución al 10% m/v de yoduro de potasio y solución 10% m/v de ácido ascórbico. Para la preparación de cada muestra se tomó 1ml de digerido y se llevó a un volumen de 16ml, se añadieron 2ml de solución reductora y 2ml de ácido clorhídrico concentrado. Además, se prepararon también solución 0,5% de hidróxido de sodio y solución 0,6% de borohidruro de sodio ya que el análisis de arsénico se realiza por generación de hidruros.

A partir del estándar de arsénico de concentración 1000ppm se preparó la solución madre con 1ppm del metal. De ésta, se tomaron los volúmenes necesarios para obtener soluciones patrón a concentraciones de 0,005; 0,01; 0,02; 0,04 y 0,05ppm. El análisis se realizó mediante

espectrometría de absorción atómica en un equipo de marca Thermo SCIENTIFIC iCE 3000 AA05170304 v1, 30. Se colocó la lámpara de cátodo hueco de arsénico y se configuró el equipo para el análisis. Se leyó el blanco de agua y las soluciones estándar preparadas anteriormente con lo cual se elaboró la curva de calibración de manera automática en el software informático acoplado. Finalmente se analizaron las muestras de la parte aérea y tallos, raíces y alimentos por triplicado obteniendo la concentración de arsénico en unidades de  $\mu\text{g/L}$ .

#### 3.9.3.2. Selenio (Se)

Para el análisis de selenio, se tomaron 5ml de cada digestado. Se adicionó 5ml de ácido clorhídrico concentrado y se calentaron a  $90^{\circ}\text{C}$  durante 30 min. Además, se prepararon también soluciones 0,5% de hidróxido de sodio, 0,6% de borohidruro de sodio y 10% v/v de ácido clorhídrico ya que el análisis de arsénico se realiza por generación de hidruros.

A partir del estándar de selenio de concentración 1000 ppm se preparó la solución madre con 1ppm del metal. De ésta, se tomaron los volúmenes necesarios para obtener soluciones patrón a concentraciones de 0,01; 0,02; 0,03; 0,04 y 0,05ppm. El análisis se realizó mediante espectrometría de absorción atómica en un equipo de marca Thermo SCIENTIFIC iCE 3000 AA05170304 v1, 30. Se colocó la lámpara de cátodo hueco de selenio y se configuró el equipo para el análisis. Se leyó el blanco de agua y las soluciones estándar preparadas anteriormente con lo cual se elaboró la curva de calibración de manera automática en el software informático acoplado. Finalmente se analizaron las muestras de la parte aérea y tallos, raíces y alimentos por triplicado obteniendo la concentración de selenio en unidades de  $\mu\text{g/L}$ .

#### 3.9.3.3. Plomo (Pb)

A partir del estándar de plomo de concentración 1000 ppm se preparó la solución madre con 40 ppm del metal. De ésta, se tomaron los volúmenes necesarios para obtener soluciones patrón a concentraciones de 0.4; 0.8; 1.2; 2 y 4 ppm.

El análisis se realizó mediante espectrometría de absorción atómica en un equipo de marca Thermo SCIENTIFIC iCE 3000 AA05170304 v1, 30. Se colocó la lámpara de cátodo hueco de plomo y se configuró el equipo a 217nm. Se leyó el blanco de agua y las soluciones estándar preparadas anteriormente con lo cual se elaboró la curva de calibración de manera automática en el software informático acoplado. Finalmente se analizaron las muestras de la parte aérea y tallos, raíces y alimentos por triplicado obteniendo la concentración de plomo en unidades de  $\text{mg/L}$ .

#### *3.9.3.4. Cadmio (Cd)*

A partir del estándar de cadmio de concentración 1000 ppm se preparó la solución madre con 2 ppm del metal. De ésta, se tomaron los volúmenes necesarios para obtener soluciones patrón a concentraciones de 0.02; 0.04; 0.06; 0.1 y 0.2 ppm.

El análisis se realizó mediante espectrometría de absorción atómica en un equipo de marca Thermo SCIENTIFIC iCE 3000 AA05170304 v1, 30. Se colocó la lámpara de cátodo hueco de cadmio y se configuró el equipo a 228.8nm. Se leyó el blanco de agua y las soluciones estándar preparadas anteriormente con lo cual se elaboró la curva de calibración de manera automática en el software informático acoplado. Finalmente se analizaron las muestras de la parte aérea y tallos, raíces y alimentos por triplicado obteniendo la concentración de cadmio en unidades de mg/L.

#### *3.9.3.5. Mercurio (Hg)*

A partir del estándar de mercurio de concentración 1000 ppm se preparó la solución madre con 1000ppb del metal. De ésta, se tomaron los volúmenes necesarios para obtener soluciones patrón a concentraciones de 4, 10, 20, 30 y 40ppb.

El análisis se realizó mediante espectrometría de absorción atómica en un equipo de marca Thermo SCIENTIFIC iCE 3000 AA05170304 v1, 30. Se colocó la lámpara de cátodo hueco de mercurio y se configuró el equipo a 253.7nm. Se leyó el blanco de agua y las soluciones estándar preparadas anteriormente con lo cual se elaboró la curva de calibración de manera automática en el software informático acoplado. Finalmente se analizaron las muestras de la parte aérea y tallos, raíces y alimentos por triplicado obteniendo la concentración de mercurio en unidades de µg/L.

### ***3.9.4.Determinación de micronutrientes***

#### *3.9.4.1. Hierro (Fe)*

A partir del estándar de hierro de concentración 1000ppm se preparó la solución madre con 50ppm del metal. De ésta, se tomaron los volúmenes necesarios para obtener soluciones patrón a concentraciones de 0,2; 0,5; 1,0; 2,0 6 3,0ppm.

El análisis se realizó mediante espectrometría de absorción atómica en un equipo de marca Thermo SCIENTIFIC iCE 3000 AA05170304 v1, 30. Se colocó la lámpara de cátodo hueco de hierro y se configuró el equipo para el análisis. Se leyó el blanco de agua y las soluciones estándar preparadas anteriormente con lo cual se elaboró la curva de calibración de manera automática en el software informático acoplado. Finalmente se analizaron las muestras de la parte aérea y tallos, raíces y alimentos por triplicado obteniendo la concentración de hierro en unidades de mg/L.

#### 3.9.4.2. *Cobre (Cu)*

A partir del estándar de cobre de concentración 1000ppm se preparó la solución madre con 5ppm del metal. De ésta, se tomaron los volúmenes necesarios para obtener soluciones patrón a concentraciones de 0,02; 0,05; 0,1; 0,2 y 0,5ppm.

El análisis se realizó mediante espectrometría de absorción atómica en un equipo de marca Thermo SCIENTIFIC iCE 3000 AA05170304 v1, 30. Se colocó la lámpara de cátodo hueco de cobre y se configuró el equipo para el análisis. Se leyó el blanco de agua y las soluciones estándar preparadas anteriormente con lo cual se elaboró la curva de calibración de manera automática en el software informático acoplado. Finalmente se analizaron las muestras de la parte aérea y tallos, raíces y alimentos por triplicado obteniendo la concentración de cobre en unidades de mg/L.

#### 3.9.4.3. *Zinc (Zn)*

A partir del estándar de zinc de concentración 1000ppm se preparó la solución madre con 10ppm del metal. De ésta, se tomaron los volúmenes necesarios para obtener soluciones patrón a concentraciones de 0,05; 0,1; 0,2; 0,5 y 1 ppm.

El análisis se realizó mediante espectrometría de absorción atómica en un equipo de marca Thermo SCIENTIFIC iCE 3000 AA05170304 v1, 30. Se colocó la lámpara de cátodo hueco de zinc y se configuró el equipo a para el análisis. Se leyó el blanco de agua y las soluciones estándar preparadas anteriormente con lo cual se elaboró la curva de calibración de manera automática en el software informático acoplado. Finalmente se analizaron las muestras de la parte aérea y tallos, raíces y alimentos por triplicado obteniendo la concentración de zinc en unidades de mg/L.

#### 3.9.4.4. *Manganeso (Mn)*

A partir del estándar de manganeso de concentración 25ppm se preparó la solución madre con 25ppm del metal. De ésta, se tomaron los volúmenes necesarios para obtener soluciones patrón a concentraciones de 0,1; 0,25; 0,5; 1,0 y 2,0ppm.

El análisis se realizó mediante espectrometría de absorción atómica en un equipo de marca Thermo SCIENTIFIC iCE 3000 AA05170304 v1, 30. Se colocó la lámpara de cátodo hueco de manganeso y se configuró el equipo para el análisis. Se leyó el blanco de agua y las soluciones estándar preparadas anteriormente con lo cual se elaboró la curva de calibración de manera automática en el software informático acoplado. Finalmente se analizaron las muestras de la parte aérea y tallos, raíces y alimentos por triplicado obteniendo la concentración de manganeso en unidades de mg/L.

### 3.9.5. Determinación de carbono orgánico

La determinación de carbono orgánico se realizó mediante titulación de Walkley Black. Se pesó aproximadamente 15mg de muestra vegetal con ayuda de una microbalanza y se transfirieron a un matraz Erlenmeyer de 500ml limpio y seco. Posterior se adicionó 10ml de ácido sulfúrico concentrado y 5ml de dicromato de potasio 0,01N medidos volumétricamente, agitando constantemente durante 1min. Se dejó reposar por 30 min para adicionar 50ml de agua destilada, 5ml de ácido ortofosfórico concentrado y 10 gotas de indicador. Finalmente se homogenizó la solución que tomó coloración negra y se tituló con sulfato ferroso 0,01N hasta viraje a coloración verde perlado. Los volúmenes de titulación se registraron para cuantificar el porcentaje de carbono orgánico en base a la siguiente fórmula:

$$\%CO = \frac{(Vb - Vt) * Nt * 0,003 * 100 * FC}{Peso\ de\ la\ muestra\ en\ g}$$

Donde:

- **Vt**= Volumen de titulante en ml
- **Vb**= Volumen de titulante para el blanco en ml
- **Nt**= Normalidad de titulante
- **FC**= Factor de corrección

### 3.9.6. Determinación de nitrógeno

El nitrógeno de las muestras vegetales se determinó mediante Kjeldahl. Inicialmente se pesó aproximadamente 2g de muestra en el balón para digestión. Se adicionaron 25ml de ácido sulfúrico, una pastilla de catalizador y una granalla de zinc. Se dejó reposar por 5min y se colocó en el digestor del equipo. Se llevó a ebullición hasta que el contenido del balón tome coloración verde esmeralda. Cuidadosamente se retiró el balón del equipo y se enfrió hasta temperatura ambiente. Luego se colocó el balón en el destilador del equipo conectado a un vaso con 100ml de agua desionizada donde se recogería el destilado. Se dejó destilar hasta alcanzar un volumen final de 200ml en el vaso. Finalmente se tituló el destilado con ácido clorhídrico 0,1N usando como indicador verde de bromocresol hasta observar viraje de verde a rosa. Se registró el volumen de titulante y se calculó el %N con la siguiente fórmula:

$$\%N = \frac{Vtit * NHCl * 14 * 100}{Peso\ de\ la\ muestra\ en\ mg}$$

Donde:

- **Vt**= Volumen de titulante en ml
- **N<sub>HCl</sub>**= Normalidad del ácido clorhídrico

### **3.9.7. Relación carbono – nitrógeno**

La relación C/N se determinó una vez obtenidos los porcentajes de carbono orgánico y nitrógeno de las muestras vegetales mediante la siguiente fórmula:

$$C/N = \frac{\% \text{Carbono orgánico}}{\% \text{Nitrógeno total}}$$

### **3.10. Factores de bioacumulación**

Los factores de bioacumulación para cada metal pesado se calcularon en base a los resultados de la concentración obtenida por EAA y conociendo el consumo promedio del metal en mg/día considerando el peso de una persona promedio como 60kg.

Para el factor de bioconcentración (BCF) se dividió la concentración del metal pesado en las raíces de las plantas para la concentración en el suelo (Pancobo y Ruiz, 2020, pp. 23-25). En cuanto al factor de biotransferencia (BTF) se obtuvo dividiendo la concentración del metal en el alimento para el consumo promedio diario del metal (Castellanos, 2015, p.8) mientras que para el factor de traslocación se hizo la relación entre la concentración del metal en la parte comestible (aérea) de la planta y la concentración del metal en la raíz (González et al, 2017, p. 5).

### **3.11. Factores de riesgo para el consumidor**

Para determinar los factores de riesgo para el consumidor se realizó inicialmente una búsqueda bibliográfica en bases de datos de la FAO, EPA, Instituto Nacional Estadística y Censos (INEC) y en artículos científicos publicados en revistas de alto impacto para estimar y asignar valores a las variables que intervienen en el cálculo del coeficiente de peligro objetivo (THQ), índice de peligro (HI) e ingesta diaria estimada (EDI) de metales pesados.

En los resultados de la encuesta ENSANUT aplicada en el año 2018 se indica que la tasa de ingesta diaria ( $F_{IR}$ ) de verduras se encuentra en 183g (2018, pp. 5 – 37). En cuanto a las dosis referenciales orales de metales pesados (RfD), en el año 2020 Soto et al. (2020, pp. 49-59) reporta valores de 0,0001 para el mercurio, arsénico 0,0003, para el cadmio 0,0005 y con el plomo 0,0035 mientras que la EPA en el 2015 reportó la dosis referencial oral del selenio en 0,005 (2015: 1A). La Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES) manifiesta que la esperanza de vida en el Ecuador para hombres y mujeres se encuentra entre los 70 y 78 años respectivamente (2008, pp. 4 -15).



En base a la información recopilada, se calcularon los factores de riesgo para el consumidor coeficiente de peligro objetivo (THQ), índice de peligro (HI) e ingesta diaria estimada (EDI) de metales pesados.

## CAPÍTULO IV

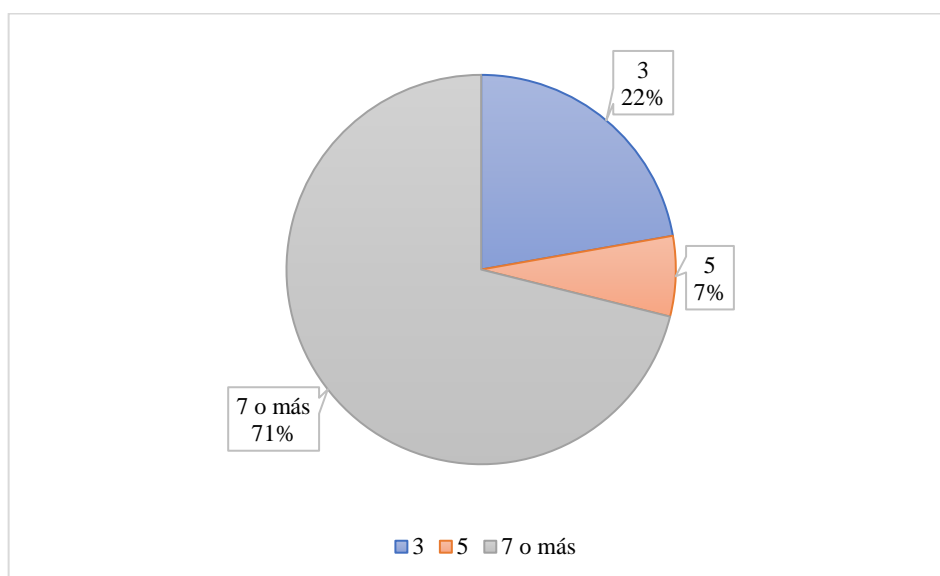
### 4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. Resultados de las encuestas

##### 4.1.1. Sector Agrícola

##### 4.1.1.1. Factor socioeconómico

- *Pregunta 1: Número de integrantes de la familia*

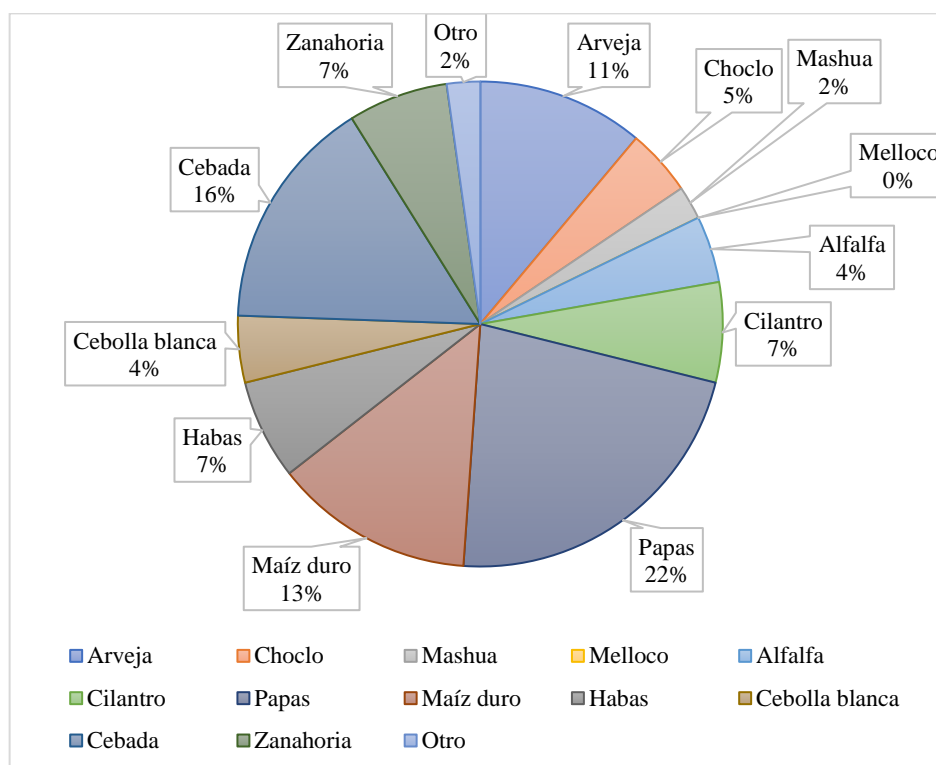


**Ilustración 1-4:** Número de integrantes de las familias encuestadas.

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

**Interpretación:** En base al número de integrantes de la familia de las personas encuestadas, se obtuvo que el 71,1% estaba conformada por 7 o más miembros, el 22,2% por 3 miembros mientras que el 6,7% únicamente por 5. Estos resultados arrojaron que el número promedio de miembros en cada familia fue de 7 o más personas.

▪ *Pregunta 2: ¿Qué produce su cultivo?*



**Ilustración 2-4:** Producción de los cultivos de las familias encuestadas.

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

**Interpretación:**

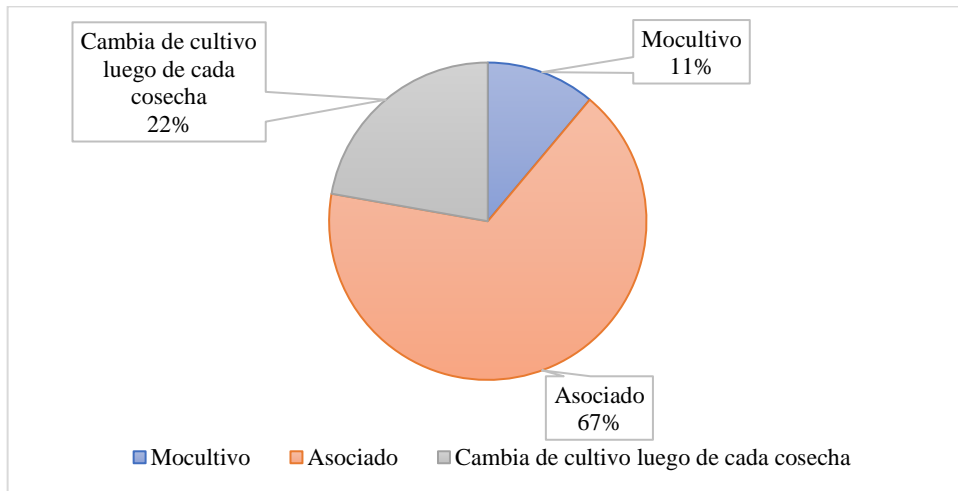
Del total de personas encuestadas, los resultados sobre la producción de los cultivos en las zonas de muestreo indicaron, el 22,2% cultiva papa, el 15,6% cebada, el 13,3% maíz duro, el 11,1% arveja, el 6,7% cilantro al igual que la zanahoria, el 4,4% choclo, así como alfalfa y cebolla blanca, el 2,2% mashua y el 2,2% cultivan otros productos, concluyendo que la población cultiva mayoritariamente papa pues es un alimento fundamental en la dieta de las personas que viven en los cantones muestreados.

▪ *Pregunta 3: Número de hectáreas o solares destinadas al cultivo*

**Interpretación:**

Al referirnos al número de hectáreas o solares que se destinan al cultivo, del total de encuestados se reportó que la mayoría de las familias encuestadas poseían mínimo 2 hectáreas y máximo 20 hectáreas y otras familias poseían una 1 o 2 solares. Lo cual podemos deducir que en promedio 8 hectáreas son destinadas para la producción de sus cultivos.

- *Pregunta 4: El tipo de cultivo es:*

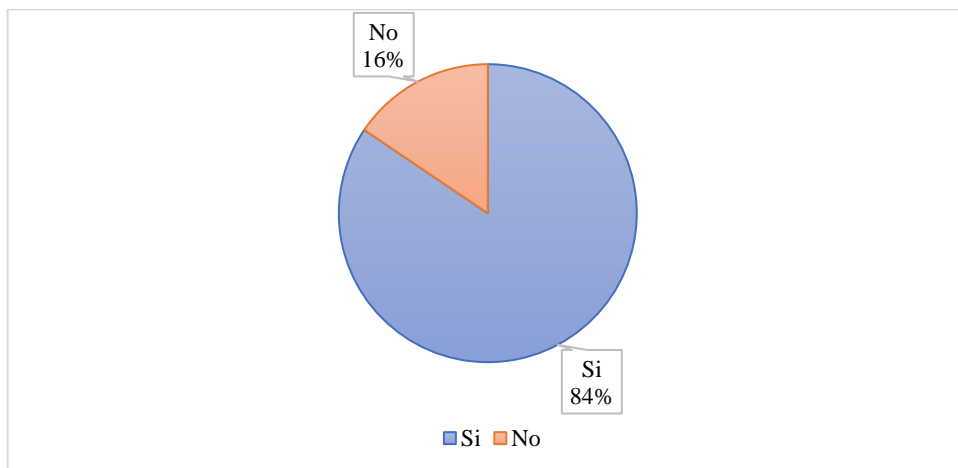


**Ilustración 3-4:** Tipo de cultivo destinado a la actividad agrícola según los encuestados.

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

**Interpretación:** En cuanto al tipo de cultivo que poseen las familias encuestadas, se halló que el 66.7% de personas poseen un cultivo asociado, el 22,2% cambia de cultivo luego de cada cosecha y el 11,1% utiliza monocultivo. Los resultados nos permitieron concluir que la mayoría de familia posee un cultivo asociado, es decir, es utilizado para diferentes productos.

- *Pregunta 7: ¿Utiliza fertilizantes y pesticidas en los cultivos?*

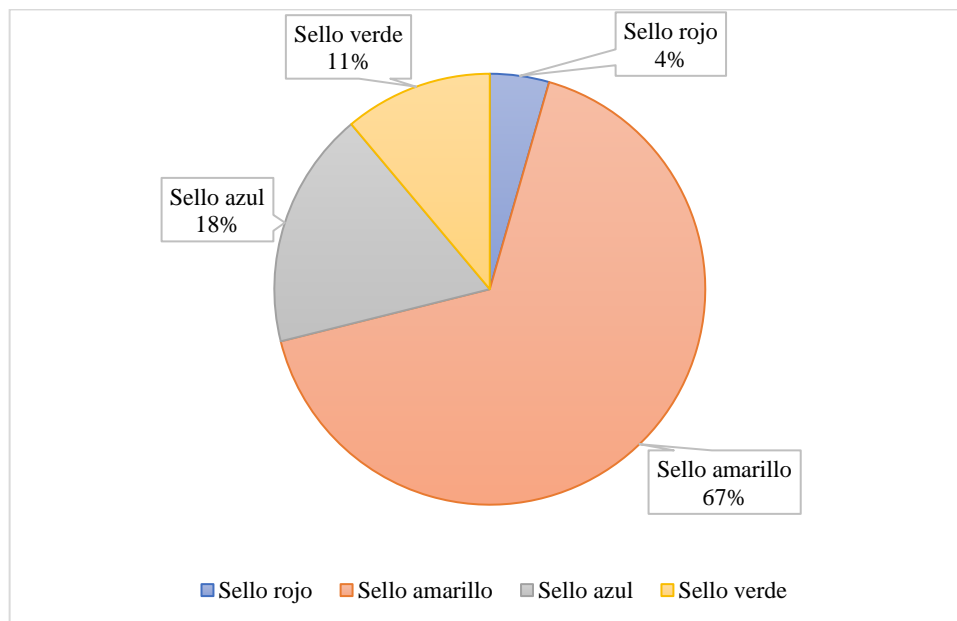


**Ilustración 4-4:** Utilización de fertilizantes y pesticidas en los cultivos según los encuestados

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

**Interpretación:** De todos los encuestados el 84,4% indico que si utiliza fertilizantes y pesticidas mientras que el 15,6% restante no los utiliza. Con esta información se concluyó que en gran parte las familias encuestadas utilizan fertilizantes y pesticidas en los cultivos para controlarlos de las diferentes plagas que existen.

- *Pregunta 8: ¿Cuál es tipo de plaguicida que utiliza?*

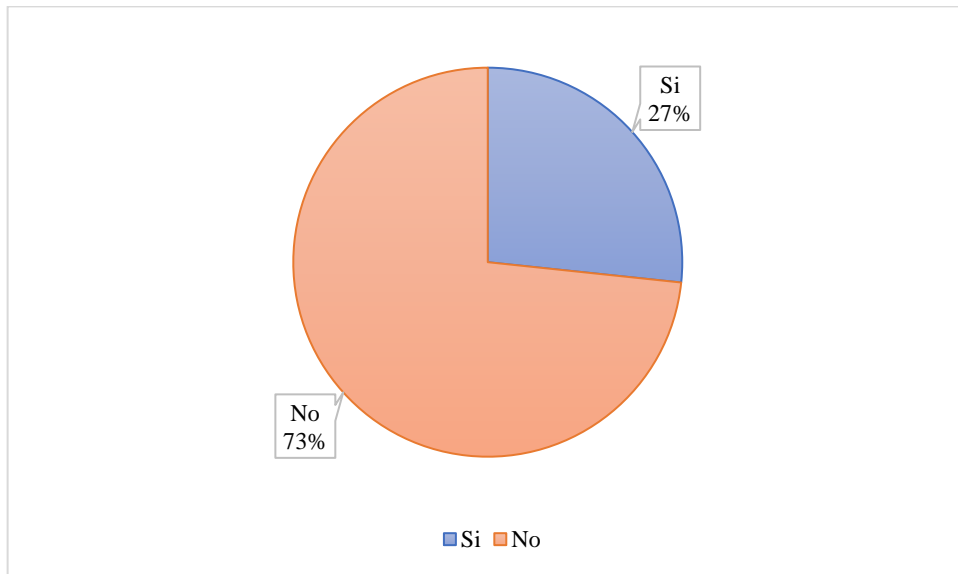


**Ilustración 5-4:** Tipos de plaguicida que utiliza en los cultivos según los encuestados.

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

**Interpretación:** En cuanto al tipo de plaguicida que utilizan en los cultivos las familias encuestadas, los datos arrojaron que el 66,7% usan sello amarillo, el 17,8% sello azul, el 11,1% sello verde y el 4,4% sello rojo. Gracias a los datos obtenidos podemos concluir que el plaguicida más utilizado es el sello amarillo.

- *Pregunta 9: ¿Le brindan asesoramiento técnico?*



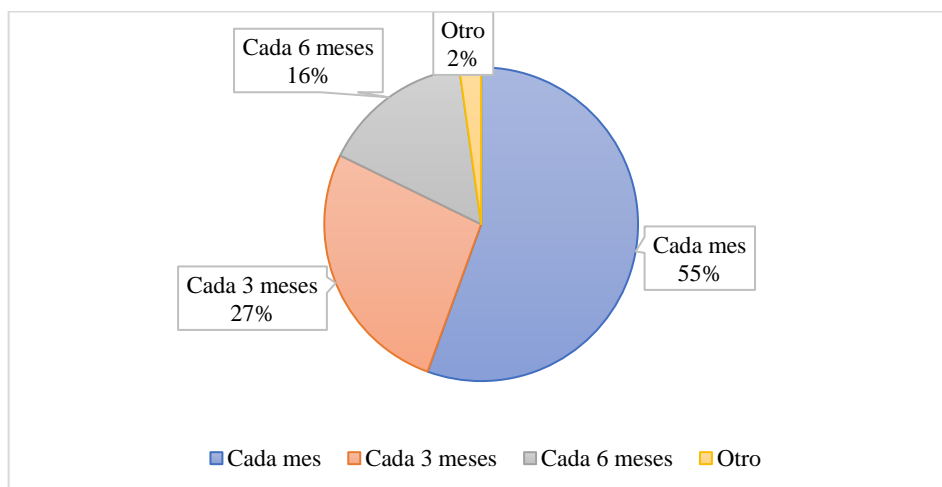
**Ilustración 6-4:** Les brindan asesoramiento técnico a las familias encuestadas.

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

**Interpretación:**

El 26,7% indicaron que si reciben asesoramiento técnico para el manejo de sus cultivos mientras que 73,3% no lo reciben. Esto nos lleva a concluir que la mayoría de las familias encuestadas no reciben ningún tipo de ayuda para el manejo de su cultivo y simplemente lo trabajan en base a su conocimiento empírico.

- *Pregunta 10: ¿Cada cuánto tiempo realiza la fumigación de plaguicidas en los cultivos?*



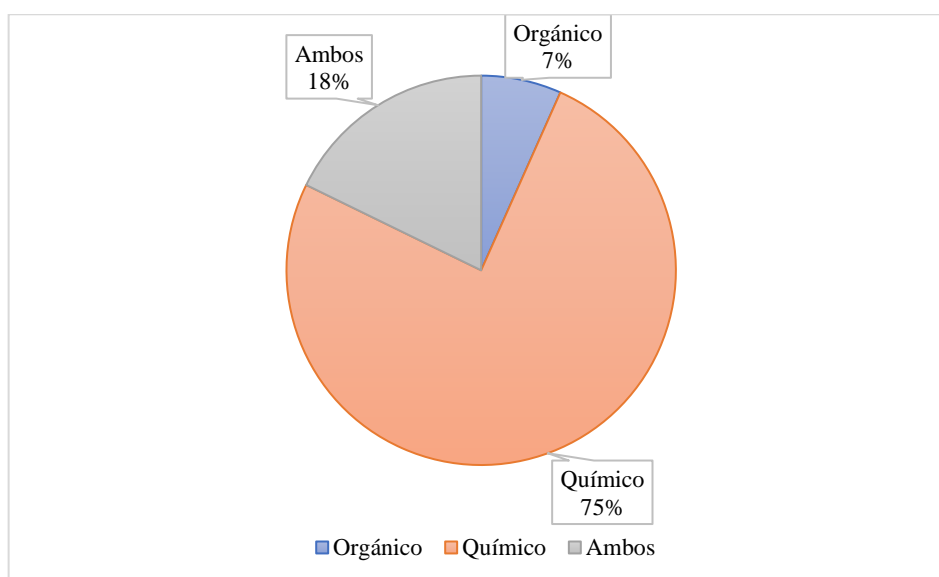
**Ilustración 7-4:** Frecuencia de tiempo en el que realiza la fumigación de sus cultivos.

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

**Interpretación:** Tras encuestar a las familias sobre la frecuencia con la que fumiga sus cultivos, se arrojaron los siguientes datos: 55,6% cada mes, 26,7% cada 3 meses, 15,6% cada 6 meses y 2,2% otros. Con esto se llega a la conclusión de que la frecuencia que más fumigan los cultivos es cada mes.

#### 4.1.1.2. Fertilizantes o abonos

- *Pregunta 11: ¿Qué tipo de fertilizante utiliza?*



**Ilustración 8-4:** Tipo de fertilizante que utilizan las familias encuestadas.

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

**Interpretación:** De las familias encuestadas se obtuvo que el 71,1% utiliza un fertilizante químico, el 11,1% fertilizante orgánico y el 17,8% ambos tipos de fertilizantes, concluyendo que la gran parte de las personas utilizan el fertilizante químico para mejorar las características de sus suelos y de esta manera también tener una mayor producción.

#### 4.1.1.3. Pesticidas

- *Pregunta 14: ¿Qué tipo de pesticida utiliza?*



**Ilustración 9-4:** Tipo de pesticida que utilizan las familias encuestadas

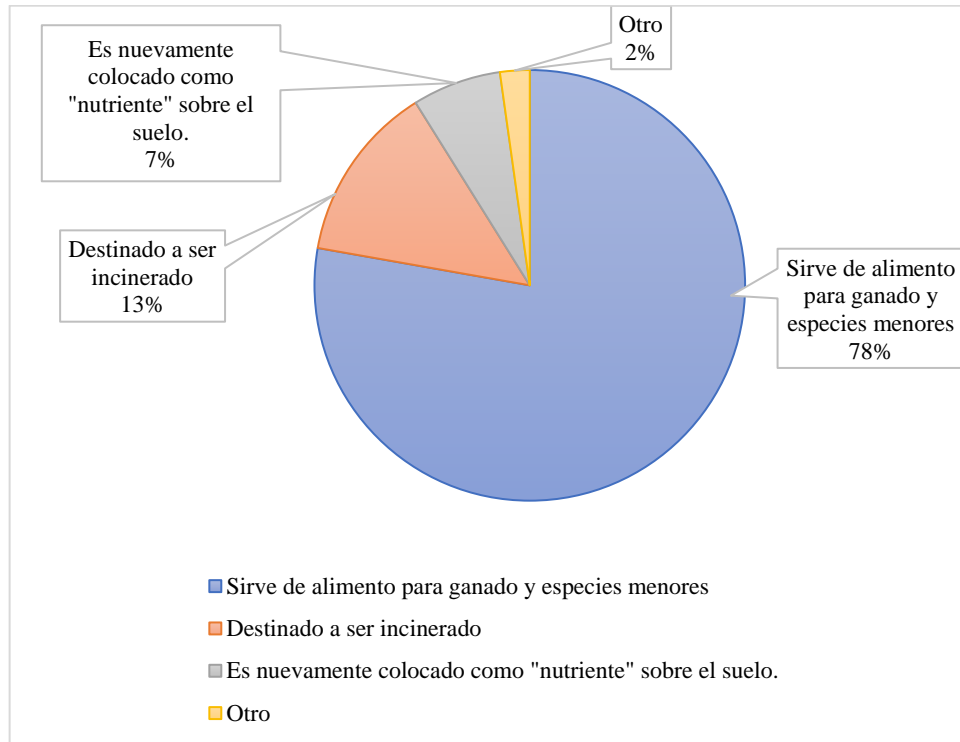
**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

**Interpretación:** De las familias encuestadas se obtuvo que el 84,6% utiliza un pesticida químico, el 12,8% pesticida orgánico y el 2,6% ambos tipos de pesticidas, concluyendo que lo que más utilizan las familias son los pesticidas químicos con el fin de no solo controlar los insectos sino también de animales, moho, entre otros.



#### 4.1.1.4. Residuos agrícolas

- *Pregunta 18: ¿Qué hace con los residuos al final de la cosecha?*

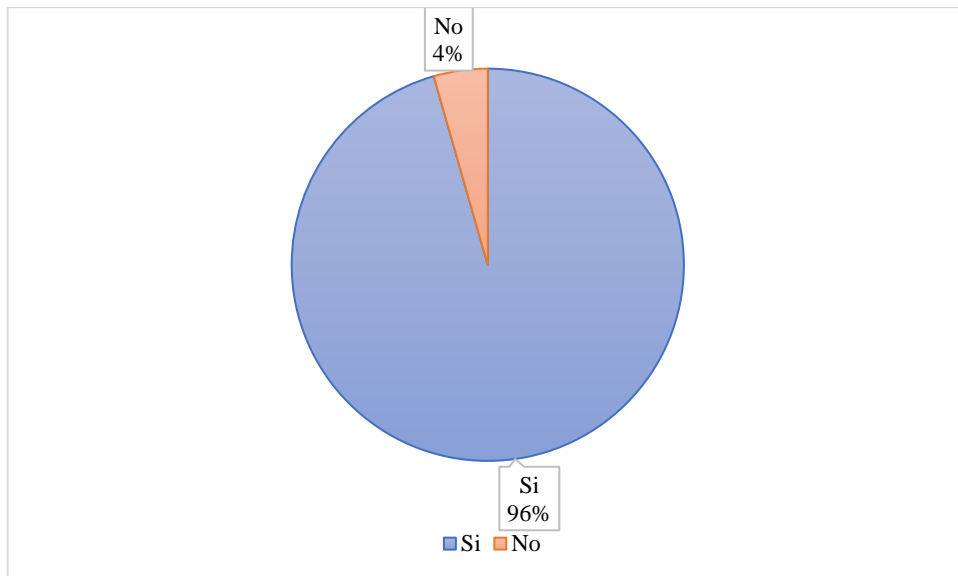


**Ilustración 10-4:** A que destinan los residuos finales de las cosechas de las familias encuestadas.

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

**Interpretación:** Al mencionarles a las familias encuestadas a que destinan los residuos finales de la cosecha se obtuvo que el 77,8% sirve de alimento para ganado y especies menores, 13,3% es destinado a ser incinerado, 6,7% es nuevamente colocado como “nutriente” sobre el suelo y 2,2% es destinado con otros fines. Pudiendo concluir que la gran mayoría usa estos residuos finales para la alimentación de ganado y especies menores.

- *Pregunta 19: ¿Considera usted como residuo aquellos productos que por su mal estado no pueden ser destinados a la venta?*

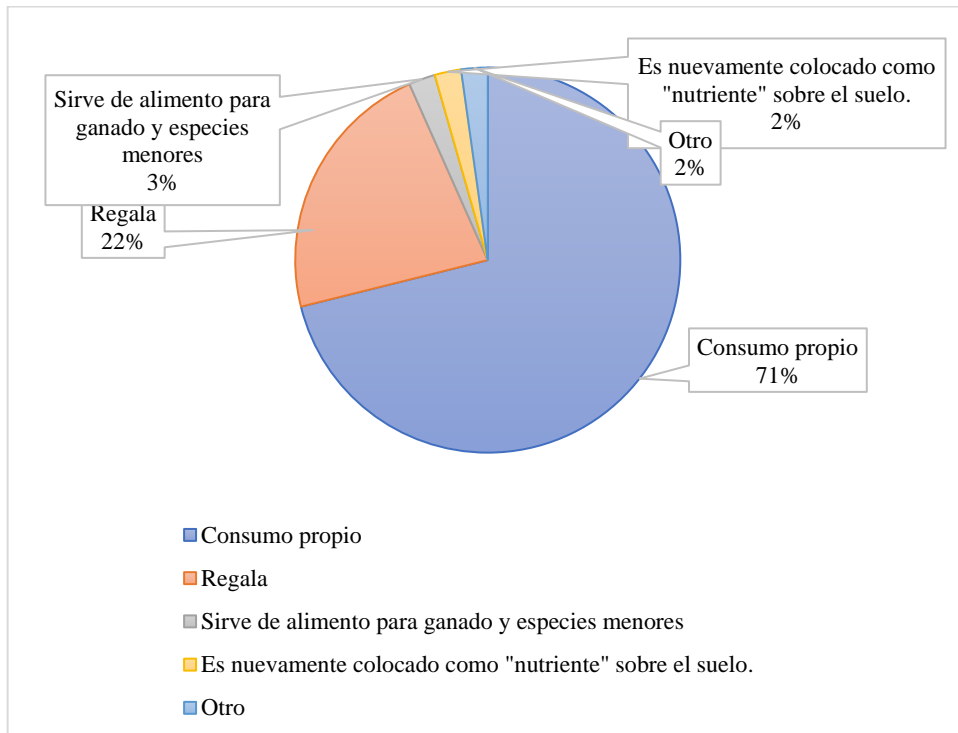


**Ilustración 11-4:** Destino de los productos en mal estado como residuo o no según los encuestados.

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

**Interpretación:** Del total de encuestados el 95,6% manifestó que si considera como residuo aquellos productos que por su mal estado no pueden ser destinados a la venta mientras que el 4,4 % restante considera que no lo es. Basándonos en esta información se concluyó que la gran mayoría de la población encuestada lo utiliza como un residuo a dichos productos.

- *Pregunta 20: ¿Qué hace con los productos que no pueden ser vendidos en el mercado?*



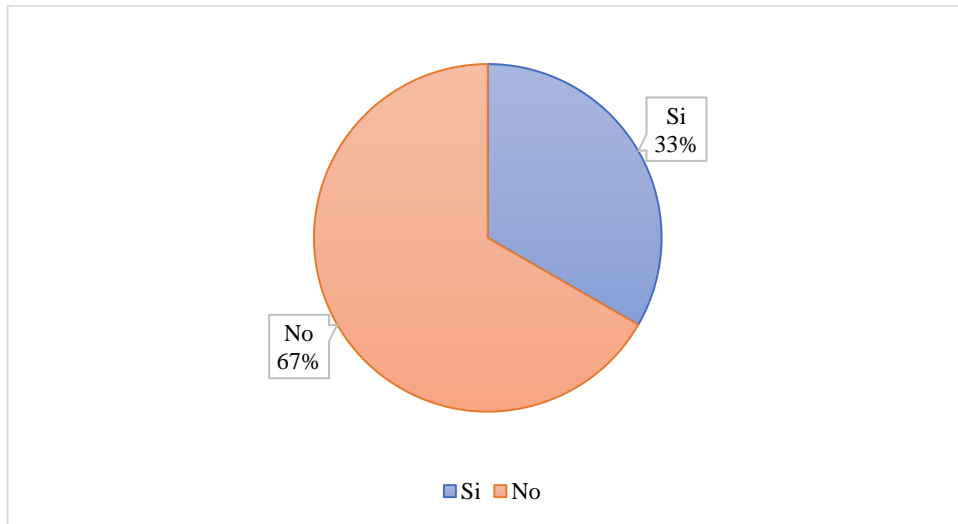
**Ilustración 12-4:** Uso de los productos que no son destinados a la venta según las familias encuestadas

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

**Interpretación:** El 71,1% del total de encuestados respondió que el uso principal que le a los productos que no son destinados para la venta es para consumo propio, el 22,2% regala dichos productos y el 2,2% lo da como alimento a sus animales, también lo coloca como “nutriente” u otro uso. Lo que nos lleva a concluir que la gran mayoría de las familias lo usa para consumo propio pues nos mencionan que en varias ocasiones la cosecha no es la suficiente para la venta y prefieren consumirlos entre la misma familia.

#### 4.1.1.5. Riego del cultivo

- *Pregunta 21: ¿Utiliza agua de riego?*



**Ilustración 13-4:** Utilización de agua de riego para los cultivos según los encuestados.

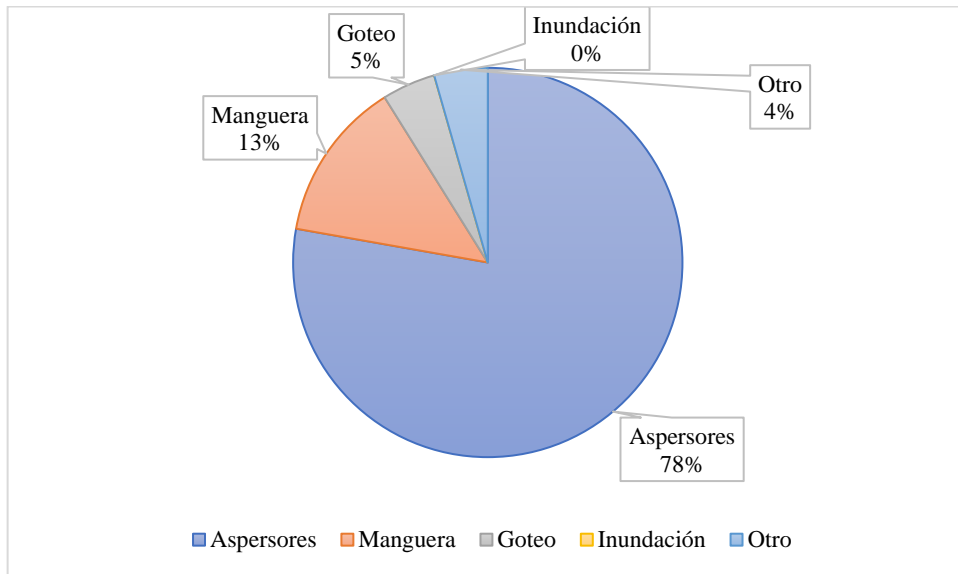
**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

**Interpretación:** Del total de encuestados el 66,7% contestó que no utiliza agua de riego para sus cultivos mientras que el 33,3% si lo utiliza. Esto nos llevó a concluir que la mayoría no utiliza agua de riego y para que sus cultivos sean productivos utilizan agua de la lluvia o toman el agua de los ríos que están cerca a sus cultivos.

- *Pregunta 22: ¿De dónde proviene el agua de riego?*

**Interpretación:** Del total de familias encuestadas el 60% la obtienen del río, 15,6% de agua de riego, 13,3% de otros lugares, 4,4% de pozo y 6,7% de vertiente. Lo cual nos lleva a concluir que la gran mayoría de familias encuestadas obtienen el agua de riego del río.

- *Pregunta 23: ¿Utiliza un sistema de riego?*

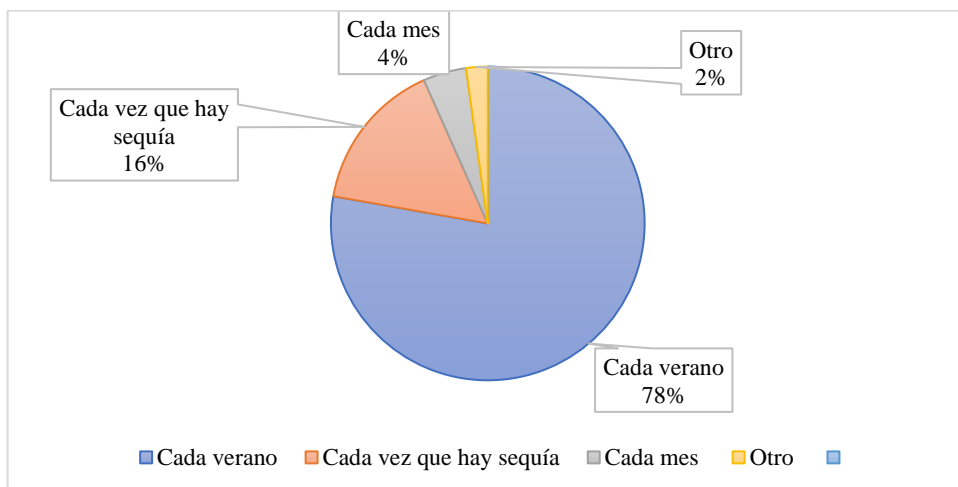


**Ilustración 14-4:** Utilización de un sistema de riego por parte de las familias encuestadas.

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

**Interpretación:** El 77,8% del total de encuestados respondió que utilizan un sistema de riego por medio de aspersores, el 13,3% por medio de manguera, 4,4% por medio de goteo u otro método. En base a estos datos podemos concluir que la gran mayoría utiliza los aspersores ya que son de mayor utilidad al momento de regar los cultivos.

- *Pregunta 24: ¿Cada cuánto tiempo riega su cultivo?*



**Ilustración 15-4:** Frecuencia de tiempo en que riegan los cultivos las personas encuestadas.

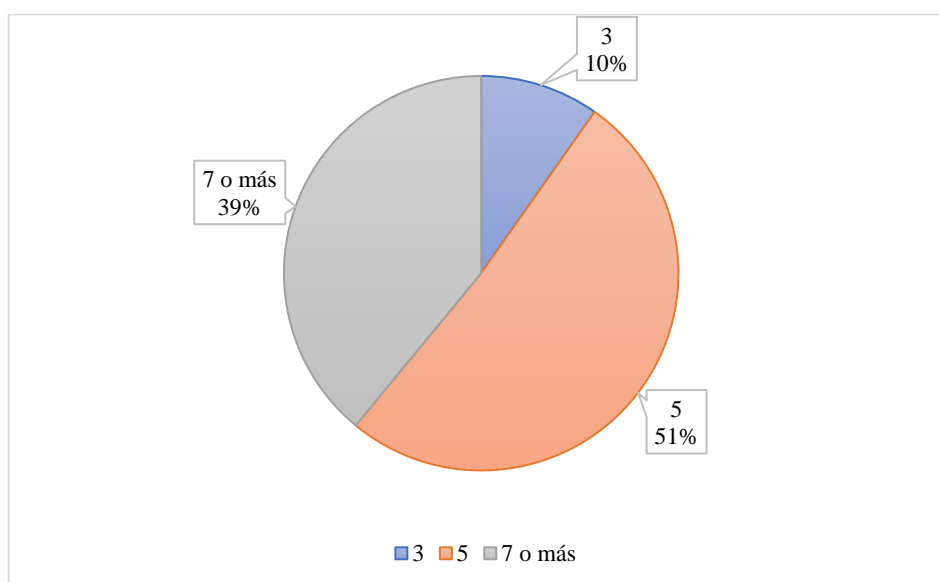
**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

**Interpretación:** Del total de encuestados se obtuvo que el 77,8% riega su cultivo cada verano, el 15,6% riega su cultivo cada vez que hay sequía, el 4,4% cada mes y el 2,2% en otra ocasión. Por consiguiente, podemos deducir que la mayoría de encuestados riegan su cultivo cada verano pues es la estación del año donde menos lluvia cae y la mayoría de familia riega sus cultivos con esa agua.

#### 4.1.2. Sector Ganadero

##### 4.1.2.1. Factor socioeconómico

- *Pregunta 1: Número de integrantes de la familia:*

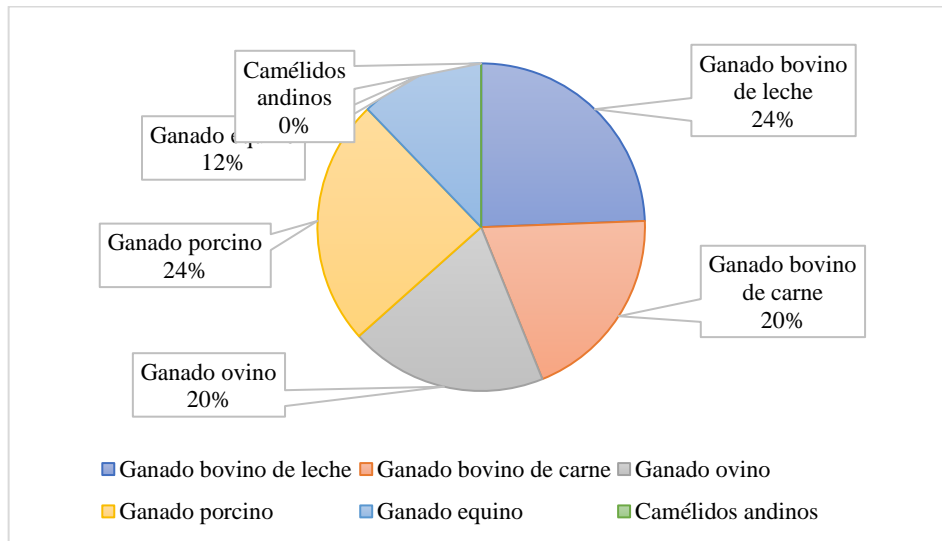


**Ilustración 16-4:** Número de integrantes de las familias encuestadas.

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

**Interpretación:** En cuanto al número de integrantes de la familia de las personas encuestadas, se obtuvo que el 51,2% estaba conformada por 5 miembros, el 39,0% por 7 o más miembros mientras que el 9,8% únicamente por 3. Estos resultados indicaron que el número promedio de miembros en cada familia fue de 5 personas.

- *Pregunta 2: ¿Qué tipo de especies cría actualmente?*



**Ilustración 17-4:** Crianza de especies ganaderas por las familias encuestadas.

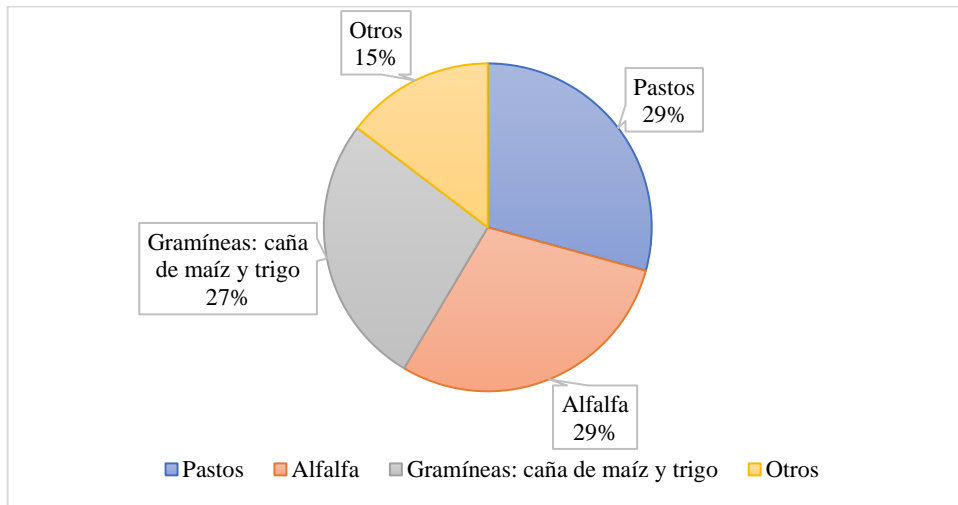
**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

**Interpretación:** Del total de personas encuestadas, los resultados sobre las especies ganaderas explotadas en las zonas de muestreo indicaron que el 24,4% se dedica a la crianza de ganado bovino al igual que de ganado porcino, en igual proporción con el 19,5% la crianza de ganado bovino de carne o leche, y tan solo un 12,2% de ganado equino dando a entender que la población se interesa mayoritariamente en la explotación de ganado bovino y porcino.

- *Pregunta 3: Número de hectáreas o solares destinadas al pastoreo*

**Interpretación:** Al hablar del número de hectáreas o solares que se destinan al pastoreo, del total de encuestados se reportó un límite inferior de 1,5 hectáreas mientras que el límite superior se encontró en las 20 hectáreas obteniendo como promedio 9,43 hectáreas para el total de los resultados. Dichos resultados indicaron que en promedio se destinan 9 hectáreas de terreno por familia para la actividad ganadera.

- *Pregunta 4: El ganado principalmente se alimenta de*

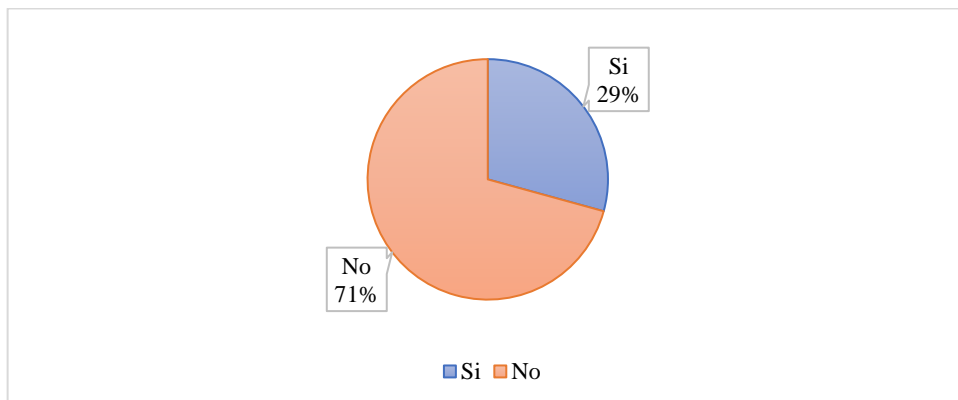


**Ilustración 18-4:** Principales fuentes alimenticias destinadas a la actividad ganadera según los encuestados.

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

**Interpretación:** En cuanto a la alimentación del ganado, se encontró que el 29,3% de personas los sustentan en base a pasto y en igual porcentaje 29,3% en base a alfalfa. El 26,8% del total de encuestados indicó que alimenta a su ganado con gramíneas como la caña de maíz y trigo. Por último, el 14,6% usa otras fuentes de alimento. Los resultados reportados permitieron concluir que la fuente principal de alimentación del ganado en las zonas encuestadas es pasto y alfalfa, considerando como implicaciones positivas que es posible proveer nutrientes a bajo costo y menor inversión en transporte de alimento.

- *Pregunta 5: Recibe ayuda técnica para la crianza del ganado*



**Ilustración 19-4:** Recepción de ayuda técnica para la crianza del ganado según los encuestados.

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

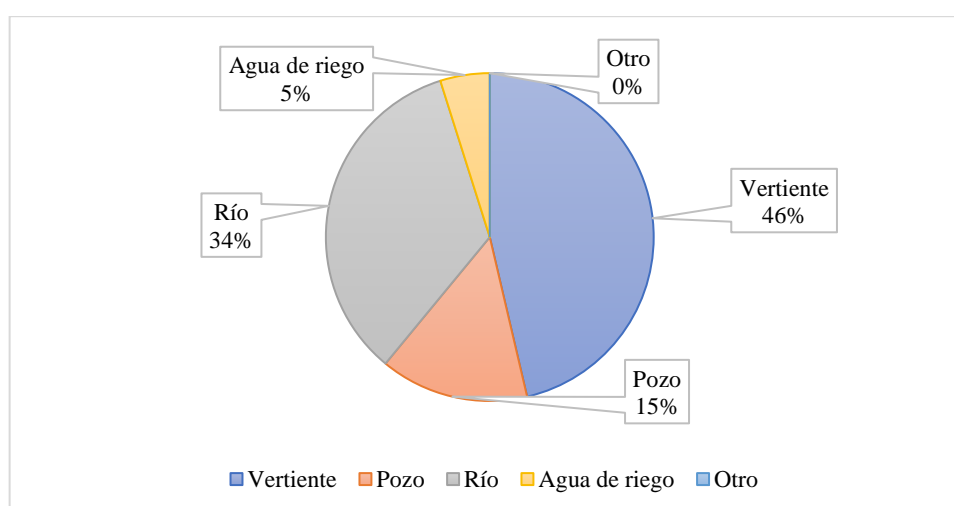


**Interpretación:** Del total de encuestados el 29,3% manifestó que si recibe ayuda técnica para la crianza del ganado mientras que el 70,7 restante no la recibe. Con esta información se concluyó que en gran parte el manejo técnico pecuario se realiza sin contar con ningún tipo de ayuda técnica y solamente con el conocimiento empírico del productor.

- *Pregunta 6: ¿Cuánto dinero invierte en la crianza de su ganado?*

**Interpretación:** Al referirnos al monto económico invertido en la crianza de ganado, del total de encuestados se reportó un límite inferior de 100 dólares mientras que el límite superior se encontró en los 1000 dólares, obteniendo como promedio 128,97 dólares para el total de los resultados. Dichos resultados facilitaron concluir que en promedio se invierten 129 dólares netos por familia solamente para la crianza de las diferentes especies de ganado.

- *Pregunta 7: El ganado bebe de:*



**Ilustración 20-4:** Fuentes de agua para la crianza de ganado según los encuestados.

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

**Interpretación:** El 46,3% del total de encuestados respondió que la fuente principal de agua para que beba el ganado es de vertiente, el 34,1% indicó que de río mientras que el 14,6% de pozo. Así, con menor porcentaje 4,9% manifestó que el agua proviene de riego. En base a lo expuesto se llegó a la conclusión que la principal fuente de agua para sustento de especies ganaderas es de vertiente. Se debe mencionar que el costo de instalaciones para dotar agua en zonas productivas de difícil acceso es elevado, motivo por el que en la mayoría de los casos se realiza de forma

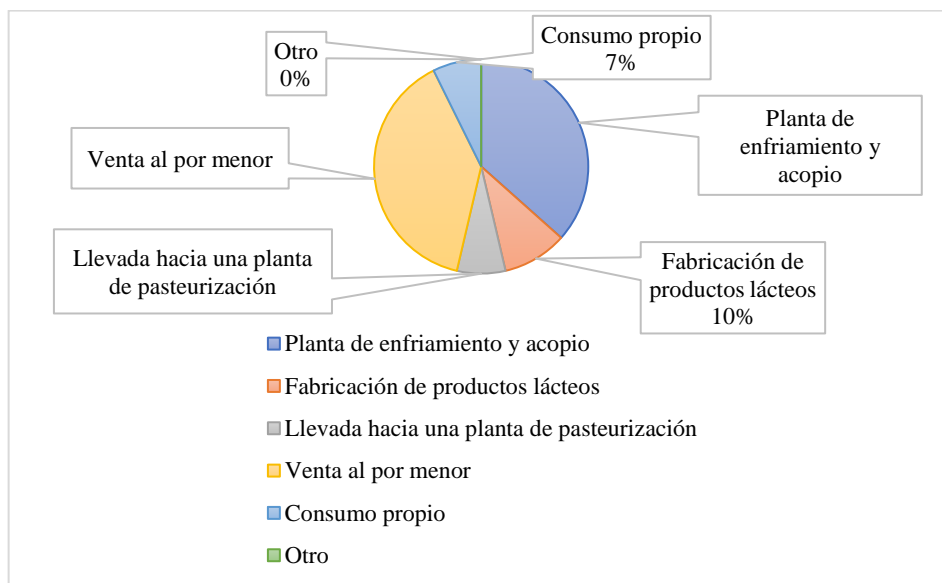
tradicional. Esto produce en algunos casos inundaciones en puntos ciegos lo que provoca un mal aprovechamiento de los recursos hídricos.

- *Pregunta 8: ¿Cuánto dinero gana aproximadamente al mes por la venta del ganado?*

**Interpretación:** Al preguntar sobre el margen de utilidad mensual por la venta de ganado, del total de encuestados se reportó un límite inferior de 200 dólares mientras que el límite superior se encontró en los 700 dólares, obteniendo como promedio 339,21 dólares para el total de los resultados. Lo reportado concluyó que en promedio se obtiene de utilidad 340 dólares netos por familia provenientes de la actividad ganadera.

#### 4.1.2.2. Sector lechero

- *Pregunta 9: ¿A qué se encuentra destinada la leche que produce?*



**Ilustración 21-4:** Uso de la leche producida según los encuestados.

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

**Interpretación:** Del total de personas encuestadas, los resultados sobre el destino de la leche producida indicaron que el 39,0% se dedica a venderla al por menor, el 36,6% la comercializa en plantas de enfriamiento y acopio, tanto solo el 9,8% la dedica a la fabricación de productos lácteos mientras que el 7,3% la pasteuriza o la dedica al consumo propio. Dichos resultados permitieron llegar a la conclusión de que la mayor parte de la producción lechera se comercializa a pequeña escala y sin procesos de industrialización.

- *Pregunta 10: ¿Cuántos litros de leche produce aproximadamente al día?*

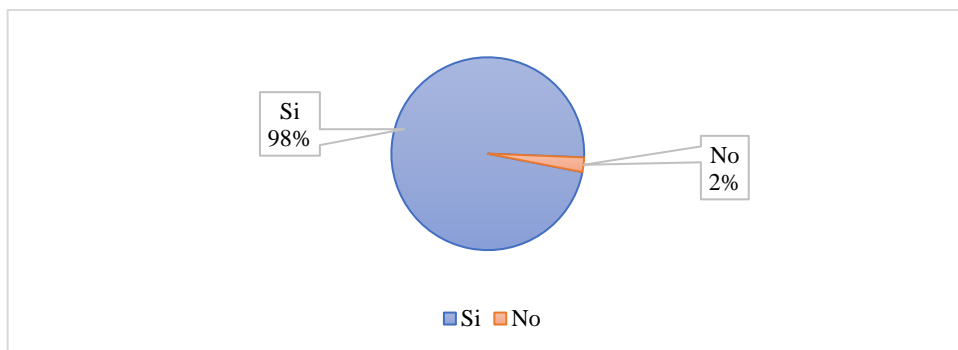
**Interpretación:** Al hablar sobre la producción de leche diaria aproximada, del total de encuestados se reportó un límite inferior de 10 litros mientras que el límite superior se encontró en los 150 litros, obteniendo como promedio 54,21 litros de leche para el total de los resultados. Los datos reportados permitieron llegar a la conclusión de que en promedio se tiene una producción de 54 litros de leche en las zonas donde se aplicó las encuestas.

- *Pregunta 11: ¿Cuánto dinero gana aproximadamente al mes por la venta de la leche?*

**Interpretación:** Refiriéndonos al margen de utilidad mensual aproximado por la venta de leche, del total de encuestados se reportó un límite inferior de 85 dólares mientras que el límite superior se encontró en los 400 dólares, obteniendo como promedio 180,50 dólares para el total de los resultados. Los datos reportados permitieron indicar que en promedio se tiene margen de utilidad mensual aproximado de 181,0 dólares en las zonas donde se aplicó las encuestas, siendo un margen relativamente bajo debido principalmente a la falta de conocimiento técnico por parte del productor.

#### 4.1.2.3. Residuos del sector ganadero

- *Pregunta 12: ¿Considera usted que el estiércol es un residuo?*

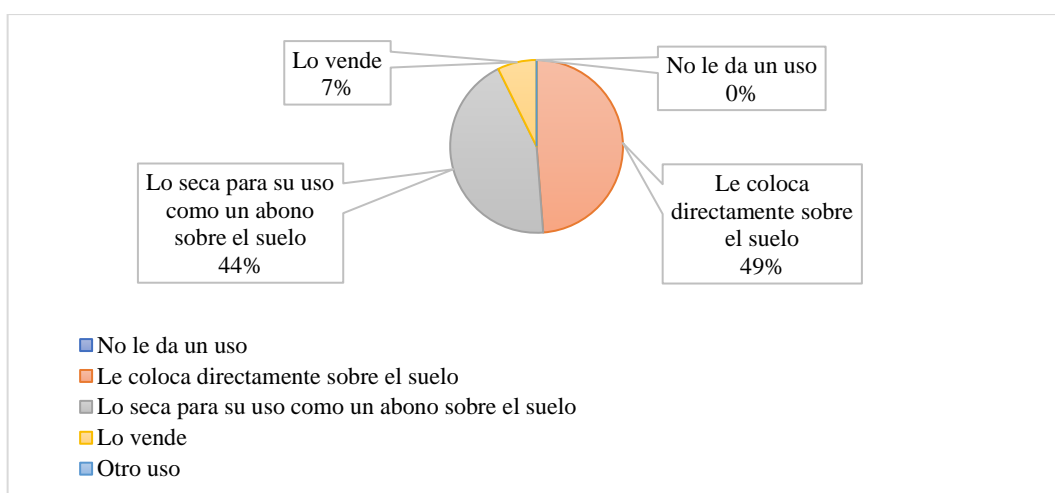


**Ilustración 22-4:** Destino del estiércol producido por la ganadería según los encuestados.

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

**Interpretación:** Del total de encuestados el 97,6% manifestó que si considera el estiércol como un residuo mientras que el 2,4 % restante considera que no lo es. En base a esta información se concluyó que la mayor parte de la población encuestada le da algún tipo de uso al estiércol al ser considerado como un residuo y no como un desecho.

- *Pregunta 13: ¿Qué usos le da al estiércol?*

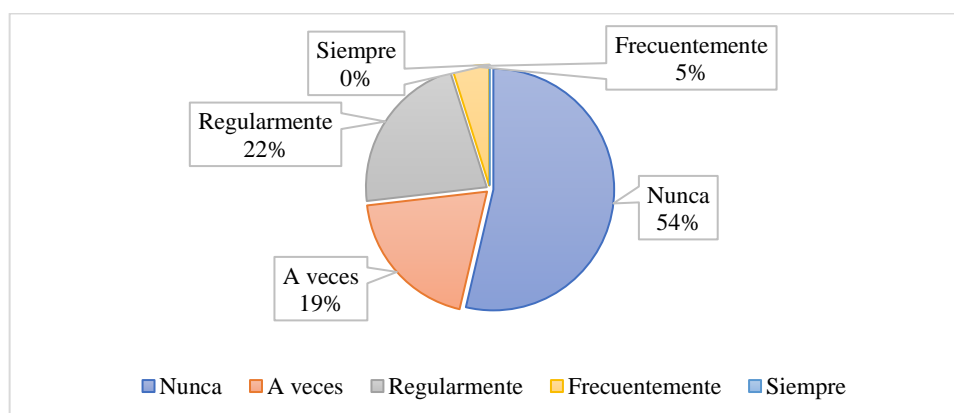


**Ilustración 23-4:** Uso del estiércol producido por la ganadería según los encuestados.

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

**Interpretación:** El 48,8% del total de encuestados respondió que el uso principal que le da al estiércol como residuo es colocarlo directamente sobre el suelo, el 43,9% indicó que lo seca para su uso como un abono sobre el suelo. Así, con menor porcentaje el 7,3% manifestó que lo vende. Basándonos en lo expuesto se llegó a la conclusión de que el uso principal del estiércol residuo de la actividad ganadera es colocarlo directamente sobre el suelo como abono. Es importante indicar que el uso de estiércol como residuo y abono trae grandes beneficios para la producción siempre y cuando se realice de manera apropiada.

- *Pregunta 14: ¿Los residuos de estiércol se encuentran cerca a fuentes de agua?*

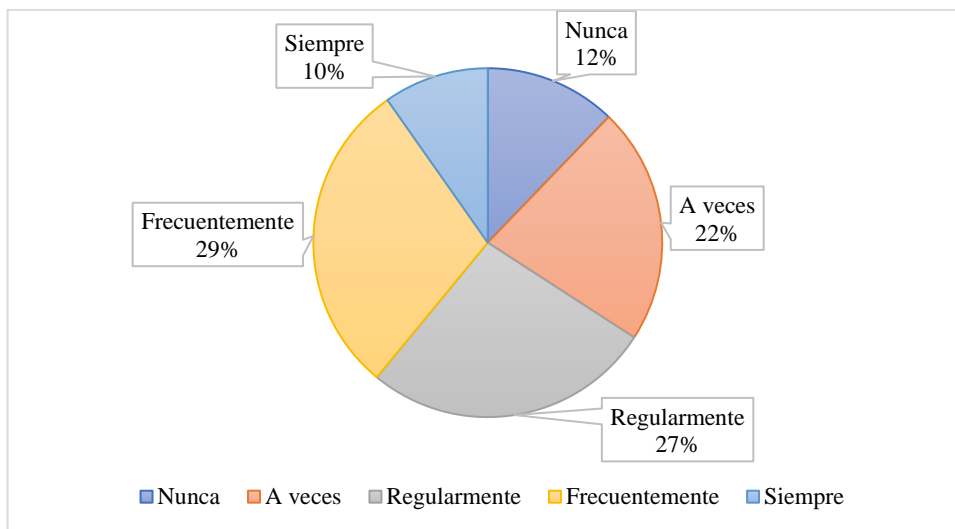


**Ilustración 24-4:** Disposición de los residuos de estiércol en relación a las fuentes de agua según los encuestados.

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

**Interpretación:** El 53,7% del total de encuestados respondió que los residuos de estiércol nunca se encuentran cerca de fuentes de agua, el 22,0% indicó que suele encontrarse regularmente mientras que el 19,5% lo hace a veces. Así, con menor porcentaje 4,9% de encuestados manifestó que los dispone cerca del agua frecuentemente. Con base en lo expuesto se llegó a la conclusión de que la ubicación de residuos de estiércol mayoritariamente es alejada de fuentes de agua.

- *Pregunta 15: ¿El ganado se encuentra cerca de fuentes de agua?*

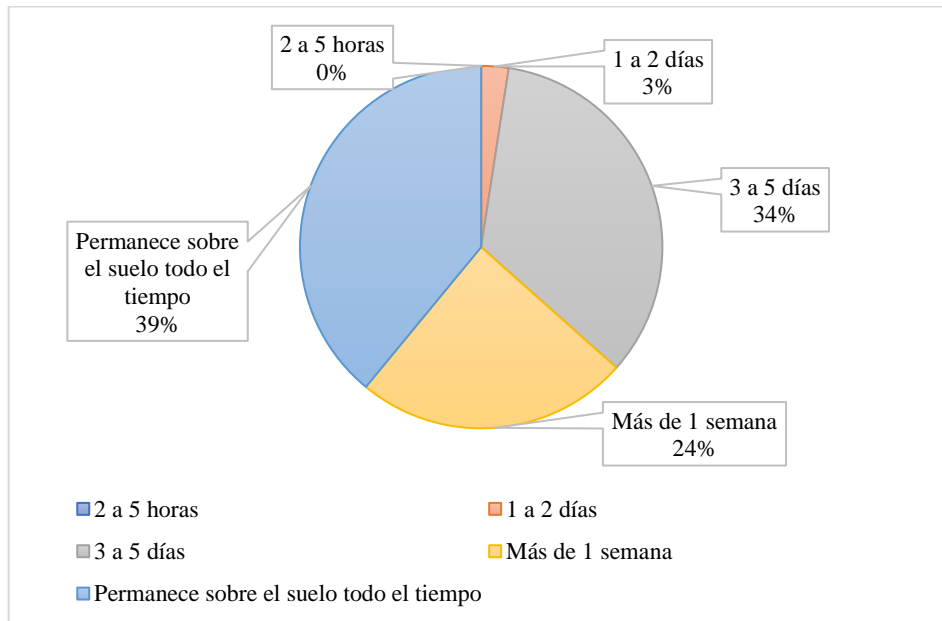


**Ilustración 25-4:** Ubicación del ganado en relación a las fuentes de agua según los encuestados.

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

**Interpretación:** El 12,2% del total de encuestados respondió que el ganado nunca se encuentra cerca de fuentes de agua, el 22,0% indicó que suele encontrarse a veces mientras que el 26,8% lo hace regularmente. Un 29,3% indicó también que el ganado frecuentemente se encuentra cerca de fuentes de agua, por último, el menor porcentaje 9,8% de los encuestados manifestó que su ganado se dispone siempre cerca. Por lo mencionado anteriormente se concluyó que la ubicación del ganado en relación a fuentes de agua es frecuentemente cercana. Las implicaciones de que el ganado se encuentre cerca de fuentes de agua son principalmente la contaminación de la misma por arrastre de residuos de origen animal hacia zonas de producción agrícola.

- *Pregunta 16: ¿Qué tiempo permanece el estiércol vacuno sobre el suelo?*



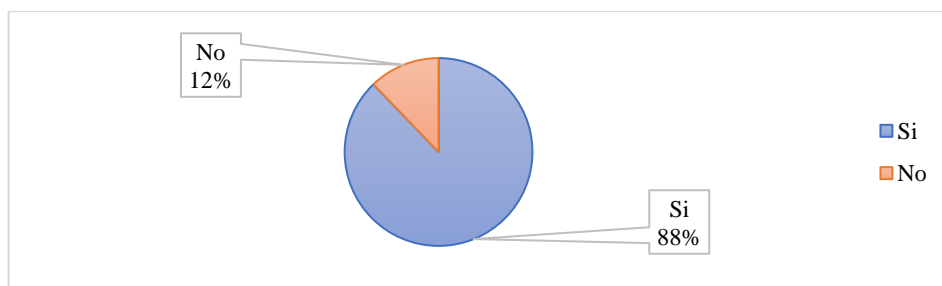
**Ilustración 26-4:** Tiempo de permanencia del estiércol vacuno sobre el suelo.

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

**Interpretación:** El 39,0% del total de encuestados respondió que el estiércol vacuno permanece sobre el suelo todo el tiempo, el 34,1% indicó que suele encontrarse entre 3 y 5 días. Un 24,4% indicó también que permanece más de 1 semana, por último, el menor porcentaje 2,4% de los encuestados manifestó que lo deja entre 1 y 2 días. Por lo mencionado anteriormente se conoció que el estiércol mayoritariamente permanece todo el tiempo sobre el suelo dándole un uso poco técnico y con menos beneficios en el aspecto productivo.

#### 4.1.2.4. Pesticidas

- *Pregunta 17: ¿Utiliza pesticidas para fumigar las plagas de los pastos que son destinados para el ganado?*

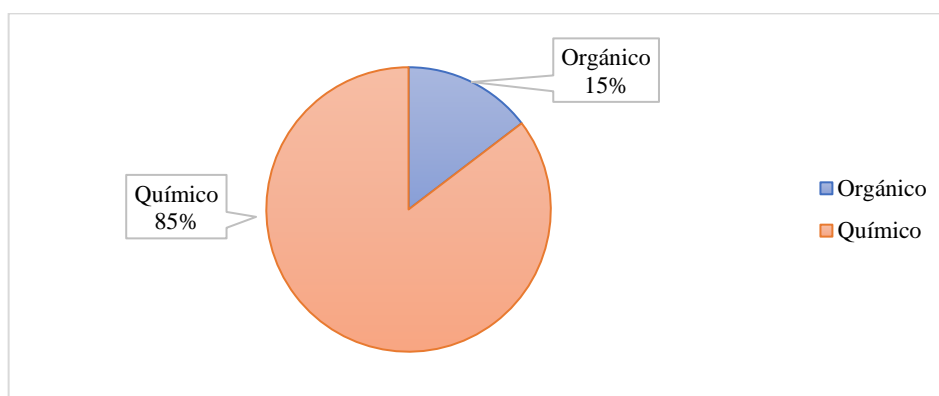


**Ilustración 27-4:** Utilización de pesticidas para fumigación de pastos.

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

**Interpretación:** Del total de encuestados el 87,8% manifestó que si utiliza pesticidas para fumigar las plagas de los pastos que son destinados para el ganado mientras que el 12,2 % restante no lo hace. En base a esta información se indicó que la mayor parte de la población encuestada fumiga los pastos para alimentación de ganado con pesticidas. Se debe mencionar que el uso de pesticidas representa mayor inversión lo que se traduce en menor rentabilidad para el productor, recordando también sus implicaciones negativas en la salud animal y humana.

- *Pregunta 18: ¿Qué tipo de pesticidas utiliza?*



**Ilustración 28-4:** Tipo de pesticidas utilizados para fumigación de pastos

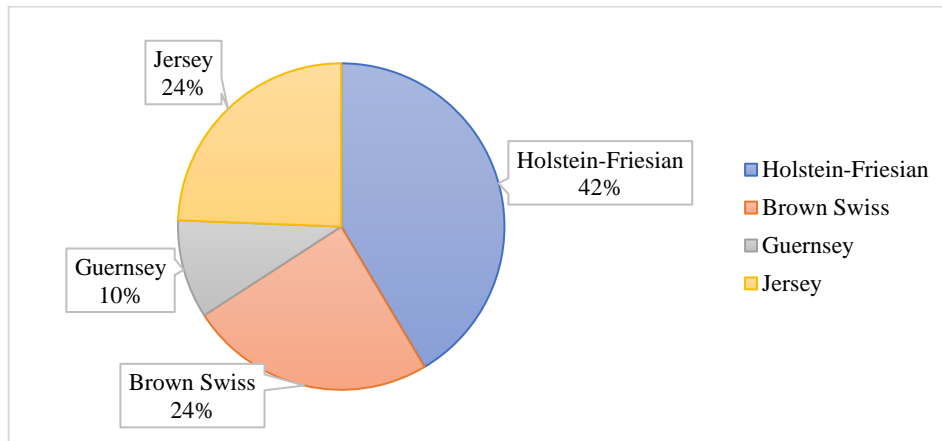
**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

**Interpretación:** En cuanto al uso de pesticidas, se encontró que el 83,4,3% de personas fumigan con pesticidas de origen química. El 26,8% del total de encuestados indicó que lo hace con pesticidas orgánicos concluyendo que los de origen químico son los más utilizados. Hay que resaltar que el uso excesivo de pesticidas químicos se traduce en mayores riesgos para la salud e impacto negativo en la cadena alimentaria.

- *Pregunta 19: ¿Cuánto dinero invierte en pesticidas?*

**Interpretación:** Al referirnos al monto económico invertido en pesticidas, del total de encuestados se reportó un límite inferior de 75 dólares mientras que el límite superior se encontró en los 350 dólares, obteniendo como promedio 170,09 dólares para el total de los resultados. Dichos resultados concluyeron que en promedio se invierten 170 dólares netos por familia solamente para la adquisición de pesticidas, inversión que en algunos de los casos no se ve reflejada en niveles adecuados de producción de pasto u otro tipo de especie vegetal usada para alimentar al ganado.

- *Pregunta 20: ¿Cuál es la raza de su ganado?*



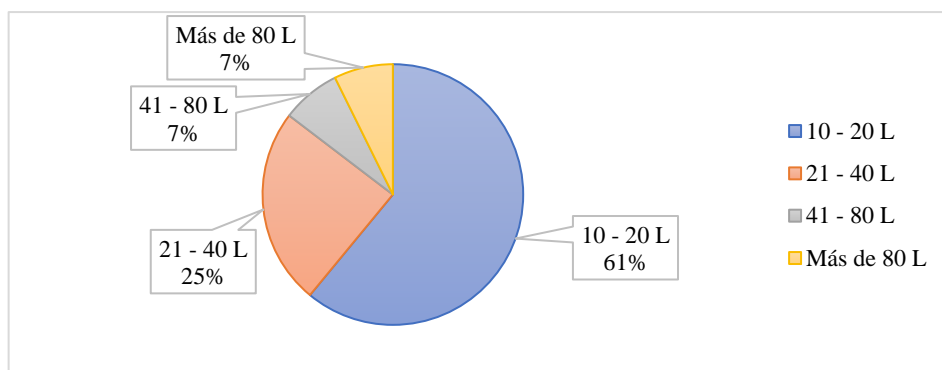
**Ilustración 29-4:** Razas de ganado vacuno destinadas para actividad pecuaria según los encuestados

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

**Interpretación:** Del total de personas encuestadas, los resultados sobre las razas de ganado vacuno explotadas en las zonas de muestreo indicaron que el 41,5% son Holstein – Friesian, el 24,4% Brown Swiss y en igual proporción con el 24,4% Jersey, mientras que tan solo un 9,8% se dedica a la crianza de ganado Guernsey dando a entender que la población se interesa mayoritariamente en la explotación de la raza Holstein – Friesian, esto debido a que la raza es de propósito lechero.

#### 4.1.2.5. Producción lechera

- *Pregunta 21: ¿Cuántos litros de leche al día produce su ganado?*



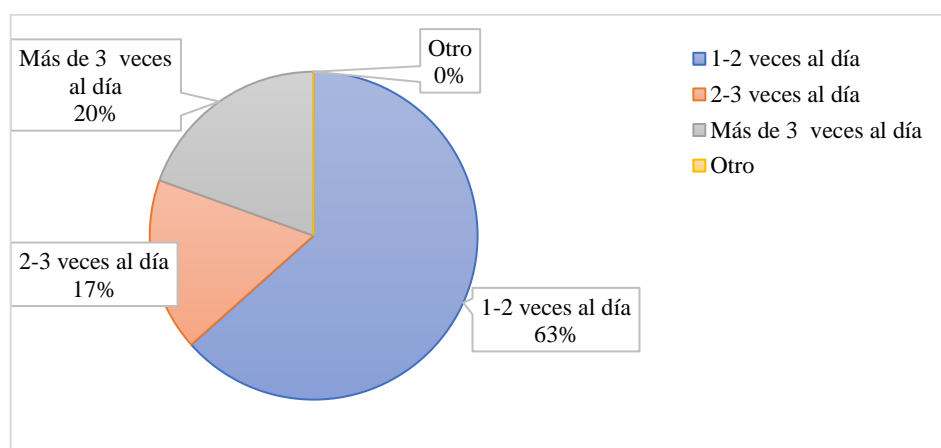
**Ilustración 30-4:** Volumen de leche diario producido según los encuestados

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.



**Interpretación:** El 61,0% del total de encuestados respondió que su producción diaria de leche se encuentra entre 10 y 20 litros, el 24,4% indicó que suele encontrarse entre 21 y 40 litros. Un 7,3% indicó también que su producción alcanza entre los 41 y 80 litros, por último, un porcentaje igual de los encuestados manifestó que más de 80 litros. Por lo mencionado anteriormente, el volumen de producción promedio en las zonas encuestadas estuvo entre 10 y 20 litros de leche diarios lo que supone un nivel productivo muy bajo en comparación con otros sectores del país.

- *Pregunta 22: ¿Con qué frecuencia consume la leche producida en el sector?*



**Ilustración 31-4:** Frecuencia de consumo de la leche producida en el sector.

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

**Interpretación:** El 63,4% del total de encuestados respondió que su frecuencia de consumo de la leche producida está entre 1 y 2 veces al día, el 19,5% indicó que suele consumirla más de 3 veces al día. Un 17,1% indicó también que lo hace 2 a 3 veces al día. Estos datos indicaron que el consumo de leche por parte de los productores en las zonas encuestadas está entre 1 y 2 veces al día observando una tendencia productiva con la finalidad de autoconsumo más como fuente para su comercialización o industrialización.

#### 4.2. Análisis fisicoquímico del suelo

**Tabla 1-4:** Codificación de muestras y coordenadas geográficas de las zonas en estudio.

Código	Identificación	Zona	Coordenada
MS1	Muestra 1 de suelo	4 Esquinas	-1.816988, -78.644532
MS2	Muestra 2 de suelo	Cecel	-1.814977, -78.642283
MS3	Muestra 3 de suelo	Pitzil	-1.851024, -78.633516
MS4	Muestra 4 de suelo	San Antonio	-1.920292, -78.640591
MS5	Muestra 5 de suelo	Vía Oriente	-1.941768, -78.631047
MS6	Muestra 6 de suelo	Tunshi Grande	-1.921841, -78.638324

MS7	Muestra 7 de suelo	Guayllabamba	-1.765221, -78.574271
MS8	Muestra 8 de suelo	Shalapud	-2.278557, -78.916117
MS9	Muestra 9 de suelo	Pistishi	-2.251994, -78.876732
MS10	Muestra 10 de suelo	San Gerónimo	-1.607104, -78.593423
MS11	Muestra 11 de suelo	San José de Chocón	-1.593704, -78.585108
MS12	Muestra 12 de suelo	El Llano	-1.579984, -78.577879
MS13	Muestra 13 de suelo	Santa Rosa de Cullo	-1.575638, -78.577684
MS14	Muestra 14 de suelo	Santa Rosa de Cullo	-1.565293, -78.581867
MS15	Muestra 15 de suelo	Valparaíso	-1.572346, -78.600153

Realizado por: Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

**Tabla 2-4:** Resultados de porcentaje de materia orgánica (%MO), pH, conductividad eléctrica (CE), densidad real y densidad aparente de muestras de suelo (MS).

CÓDIGO	Materia orgánica (%MO)	pH	Conductividad eléctrica (CE; dS/m)	Dens. real (g/mL)	Dens. aparente (g/mL)
MS1	5,103	8,20	0,113	2,400	1,090
MS2	6,330	7,77	0,055	2,590	1,133
MS3	4,735	7,45	0,041	2,510	1,160
MS4	2,611	7,57	0,025	2,610	1,279
MS5	2,641	7,33	0,073	2,590	1,160
MS6	3,676	7,61	0,035	2,635	1,165
MS7	5,305	7,57	0,113	2,379	1,048
MS8	9,257	7,31	0,082	2,469	0,964
MS9	3,728	7,16	0,092	2,226	1,078
MS10	6,252	6,99	0,075	2,514	1,213
MS11	7,072	7,13	0,103	2,691	1,036
MS12	1,579	7,59	0,092	2,441	1,342
MS13	7,232	8,29	0,094	2,591	1,026
MS14	3,480	7,35	0,034	1,782	1,202
MS15	2,464	8,10	0,0658	2,382	1,132
<b>DMS</b>	0,436	0,70	0,024	0,246	0,040

Realizado por: Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

El análisis estadístico de datos se realizó calculando la diferencia mínima significativa (DMS) mediante el software informático SPSS. Dicho valor permite determinar las medias significativamente diferentes al comparar grupos de datos. Tomando en cuenta el porcentaje de materia orgánica de las muestras MS11<sup>1</sup> y MS3<sup>2</sup> se obtuvo un valor de 2,337 como diferencia, lo cual fue evidentemente mayor que la DMS para este grupo de datos 0,436; por lo tanto, existieron diferencias estadísticamente significativas entre los porcentajes comparados. Por otra parte, los

<sup>1</sup> Muestra de suelo tomada en San José de Chocón

<sup>2</sup> Muestra de suelo tomada en Pitzil

resultados de las muestras MS7<sup>3</sup> y MS1<sup>4</sup> reportaron una diferencia de 0,202 y al compararse con la DMS calculada, no presentaron diferencias significativas. Dicho análisis puede aplicarse a cualquier pareja de datos e interpretarse de manera similar.

#### **4.2.1.pH**

Según nos mencionan Ibarra et al. (2009: pp. 267-276), el pH es el indicativo de los nutrientes que tendrá las plantas, por lo tanto, el pH óptimo de los suelos agrícolas para un mejor rendimiento y que tenga buena productividad varía entre 6.5 y 7, en el caso de un suelo con pH ácido se lo puede ir mejorando poco a poco con la ayuda de cal, mientras que si el pH presenta valores extremos puede llegar a afectar la estructura del suelo. Con base a lo datos que se obtuvieron las muestras presentaron un suelo con pH ácido, excepto la muestra de San Gerónimo que se encuentra dentro del rango establecido.

#### **4.2.2. Conductividad eléctrica**

De acuerdo con Barbaro et al. (pp.1-10), la conductividad eléctrica es conocida como la capacidad de un material para conducir la corriente eléctrica, el valor recomendado de la CE en lo posible debe ser menos a 1 dS.m<sup>-1</sup>, que los suelos estén dentro del rango ayudan a que haya un mejor manejo de la fertilización y por supuesto evitar problemas de fitotoxicidad. Todas las muestras que fueron analizadas de los suelos se encuentran en el rango establecido por lo que se consideraron suelos aptos.

#### **4.2.3. Materia orgánica**

Conforme a lo mencionado por Julca et al. (2006: pp. 49-61), se considera a la materia orgánica como un residuo ya sea de plantas o animales, esta es de gran utilidad en la mejoría del suelo, tanto en sus propiedades físicas, como químicas y microbiológicas. El suelo deber tener un 2% para presentar un bajo contenido, si presentan desde el 2 hasta el 5% se considera una cantidad media, pero si supera dicho % se lo llega a considerar un valor superior.

Según Albán y Ruiz (2021, p. 88), la materia orgánica (MO) de los suelos influye decisivamente en sus propiedades físicas (retención de agua, estructuración y aireación del suelo), químicas (C.I.C., poder de amortiguación del suelo, etc.) y biológicas. El contenido de MO en la mayoría de los suelos fértiles oscila entre el 1 y 5 % y varía de suelo en suelo dependiendo del material vegetal,

---

<sup>3</sup> Muestra de suelo tomada en Guayllabamba

<sup>4</sup> Muestra de suelo tomada en 4 Esquinas

de la textura del suelo (% arcilla) y del pH (determina la mayor o menor existencia de microorganismos). De acuerdo con los datos de las muestras que se obtuvieron de los suelos y lo anteriormente mencionado, se encontraron dentro del rango establecido, salvo ciertas excepciones como Cecel, Guayllabamba, Shalapud, San Gerónimo, El Llano y Santa Rosa de Cullo.

#### **4.2.4. Densidad real**

Como nos indica Vega et al. (2017: pp. 1-8), la densidad real solo considera solo aquella fracción de sólidos presentes en el suelo (mineral y orgánica), sin contar con la fase líquida y gaseosa. Lo que lo determina como un valor más o menos constante pero que puede ser influenciado por diversos factores. Refiriéndonos a la fase orgánica su valor oscila entre 1.0 a 1.3 g/cc, mientras que en los componentes minerales sus valores están cercanos a 2.65 g/cc. Con los datos de las muestras que se analizaron podemos mencionar que se encuentran dentro del rango establecido en bibliografía.

#### **4.2.5. Densidad aparente**

Conforme a Rubio (2010: pp. 15-18), la densidad aparente se define como el peso seco del suelo por unidad de volumen de suelo inalterado, sus valores dependen de la textura, estructura y contenido de materia orgánica, por lo cual se considera un valor altamente variable por las variaciones en cantidad / calidad del espacio poroso. Sus valores pueden llegar a ser inferiores a 0.25 Mg.m<sup>-3</sup> en suelos turbosos y superiores a 1.90 Mg.m<sup>-3</sup> en suelos muy compactados. Con los datos que fueron analizados en el laboratorio podemos mencionar que se encuentran dentro del rango adecuado.

#### **4.2.6. Textura**

**Tabla 3-4:** Resultados de textura de muestras de suelo (MS).

<b>CÓDIGO</b>	<b>Textura</b>
MS1	Franco arenoso
MS2	Franco arenoso
MS3	Franco arenoso
MS4	Arenoso franco
MS5	Arenoso franco
MS6	Arenoso franco
MS7	Arenoso franco
MS8	Franco arenoso
MS9	Franco arenoso

MS10	Franco arenoso
MS11	Arenoso franco
MS12	Franco arenoso
MS13	Franco arenoso
MS14	Arenoso franco
MS15	Franco arenoso
<b>DMS</b>	ND

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

Según nos menciona la Universidad de Riego (2019: p. 1), la textura de suelos agrícolas se refiere al tamaño de partículas que forman el suelo, los cuales son arena, limo y arcilla; los cuales determinan la clasificación textural. Las partículas de arena miden desde 0.05 a 2.0 mm, los limos van desde 0.002 a 0.05 m y la fracción de arcilla está conformada por partículas de menos de 0.002 mm.

#### **4.2.7. Análisis de macronutrientes**

**Tabla 4-4:** Resultados de sodio, potasio y fósforo de muestras de suelo (MS).

<b>CÓDIGO</b>	<b>Sodio (Na; ppm)</b>	<b>Potasio (K; ppm)</b>	<b>Fósforo (P; ppm)</b>
MS1	803,499	29,242	0,001
MS2	1362,139	20,246	0,003
MS3	1647,451	4,625	0,001
MS4	546,275	4,067	0,001
MS5	726,799	170,683	0,005
MS6	942,871	4,204	0,002
MS7	383,596	8,801	0,001
MS8	807,063	12,277	0,003
MS9	444,665	3,798	0,005
MS10	648,574	24,531	0,014
MS11	1082,721	29,971	0,033
MS12	1152,196	219,304	0,005
MS13	747,868	5,454	0,006
MS14	1044,454	32,758	0,015
MS15	1187,080	30,973	0,014
<b>DMS</b>	11,086	4,441	0,00035

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

#### 4.2.7.1. Sodio

Según Fertilab (2015, pp. 1-4), por lo general el sodio se encuentra en el suelo en estado combinado principalmente como sales, los suelos que presentan altos contenidos de sodio son causantes de la floculación o dispersión de partículas, al igual que la disminución de la permeabilidad o infiltración del agua, lo cual lo va degradando. Con los datos que fueron analizados en laboratorio podemos mencionar que presentan altos contenidos de sodio.

#### 4.2.7.2. Potasio

En base a lo que nos indica Vistoso y Martínez (2020: pp.1-4), el potasio en el suelo está en forma de catión intercambiable, es decir, pasa rápidamente a la solución del suelo debido a la acción de los ácidos débiles. Los suelos que contienen mayor cantidad de potasio se dicen que suelen ser abonados con estiércol. Su valor oscila entre 0.3 y 3%. En base a los datos obtenidos podemos mencionar que se encuentra dentro del rango establecido según bibliografía.

#### 4.2.7.3. Fósforo

De acuerdo con Fernández (2007, pp. 51-57), el fósforo es un elemento fundamental para el crecimiento y desarrollo de las plantas, por lo general los suelos presentan deficiencia de fósforo por lo cual usualmente se aplica fertilizantes fosforados. El nivel crítico de fósforo se dice que es 10 mg/L. Con los datos que fueron analizados en laboratorio se pudo mencionar que las muestras presentaron valores muy bajos de P por lo cual se podría decir que son suelos deficientes de fósforo.

#### 4.2.8. Análisis de micronutrientes

**Tabla 5-4:** Resultados de manganeso, hierro, cobre y zinc de muestras de suelo (MS).

CÓDIGO	Manganeso (Mn; ppb)	Hierro (Fe; ppm)	Cobre (Cu; ppb)	Zinc (Zn; ppb)
MS1	137,139	11384,454	30251,311	23644,478
MS2	139,254	8697,131	27055,823	20909,741
MS3	140,654	8976,638	26885,703	19064,581
MS4	147,848	10229,736	24988,725	19134,617
MS5	97,444	7177,060	14155,264	15186,776
MS6	105,302	7129,998	15827,858	14889,494
MS7	71,916	3671,553	10878,568	18400,116
MS8	261,809	10661,310	21302,318	23028,476

MS9	43,008	3444,583	2416,484	8510,320
MS10	122,313	6753,122	7135,766	17812,862
MS11	64,196	4570,982	829,823	10551,951
MS12	79,436	6031,938	500,251	12358,634
MS13	59,011	3662,020	4523,198	9241,349
MS14	74,165	5772,020	6407,638	23335,583
MS15	201,904	13370,562	31513,612	31678,504
<b>DMS</b>	7,796	802,002	762,558	401,626

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

#### 4.2.8.1. Hierro

Según nos menciona Juárez et al. (2010, pp. 1-32), el Fe se considera el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre, su contenido en suelo estima en un 3.8%. La mayor parte se encuentra en minerales de silicato su óxidos e hidróxidos de Fe, lo cual puede causar deficiencias de los cultivos y disminuir el rendimiento de este. Con los datos obtenidos en laboratorio se considera que los datos se encuentran elevados, por lo cual puede llegar a causar deficiencias.

#### 4.2.8.2. Cobre

Según menciona Sela (2015: p. 1), el cobre en los suelos está presente en forma de  $\text{Cu}^{2+}$  y este se acumula principalmente en las raíces, su concentración va de 2 a 100 ppm, su presencia aumenta un pH menor de 7 y disminuye un pH más alto por su fijación a los minerales de arcilla del suelo, el Cu tiende a adsorber muy rápido la materia orgánica. Con los datos obtenidos en el laboratorio podemos observar que los valores se encuentran muy elevados de acuerdo con el rango establecido y esto puede causar variaciones en el pH.

#### 4.2.8.3. Manganeso

Según nos indica Gómez et al. (2006, pp. 340-347), el Mn se encuentra en forma de óxido, carbonatos y silicatos, su contenido presente en el suelo generalmente va entre 200 y 3000  $\text{mg.kg}^{-1}$ . Su disponibilidad es más elevada en los suelos ácidos debido a la solubilización de los compuestos que contienen Mn. Con base a lo datos obtenidos en bibliografía podemos mencionar que se encontraron dentro del rango establecido por lo cual no presentaría un problema mayor.

#### 4.2.8.4. Zinc

De acuerdo con Intagri (2022: p. 1), el Zn se considera el micronutriente más deficiente del mundo,

pese a ello se presente con mayor frecuencia en suelos arenosos y menor frecuencia en los arcillosos por la capacidad de adsorción y retención de estos suelos. Su nivel crítico es de 3 mg/L. Con base a los datos establecidos podemos observar que los valores se encuentran muy superiores al valor crítico.

#### 4.2.9. Análisis carbono, nitrógeno y relación C/N

**Tabla 6-4:** Resultados de carbono, nitrógeno y relación C/N de muestras de suelo (MS).

CÓDIGO	Carbono orgánico (%Corg)	Nitrógeno total (%NT)	Relación C/N
MS1	0,890	0,215	4,250
MS2	1,395	0,310	4,400
MS3	0,272	0,103	2,675
MS4	0,204	0,070	2,911
MS5	0,670	0,384	1,723
MS6	0,880	0,419	2,065
MS7	1,694	0,419	4,028
MS8	2,288	0,430	5,238
MS9	0,990	0,239	4,108
MS10	0,485	0,210	2,265
MS11	0,992	0,242	4,074
MS12	0,884	0,315	2,629
MS13	0,393	0,350	3,237
MS14	1,127	0,350	5,111
MS15	1,411	0,383	3,605
<b>DMS</b>	0,177	0,007	0,176

Realizado por: Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

##### 4.2.9.1. Carbono y nitrógeno

Según nos indica Martínez et al. (2008, pp. 68-96), el carbono está en relación con la sustentabilidad de los sistemas agrícolas y por tanto va afectando las propiedades de este, a su vez también se vincula con la cantidad y disponibilidad de nutrientes que están presentes en el suelo y modifica la acidez y alcalinidad. Con los datos obtenidos en laboratorio podemos mencionar que se encuentran dentro del rango normal y por lo tanto se consideraron suelos sustentables.

Conforme a Florencia et al. (2019, pp.1-11), el nitrógeno se encuentra tanto en forma orgánica como química, cuando se encuentra presente en el suelo se debe a diversos factores como: restos de cultivos, abonos verdes, estiércol, entre otras. Gran parte de este que se incorpora al suelo sufre transformaciones antes de ser utilizados por los vegetales superiores. Con los datos obtenidos en laboratorio podemos mencionar que se encuentran dentro del rango normal y no es indicativo de



ningún problema en el suelo.

#### 4.2.10. Análisis de aniones

**Tabla 7-4:** Resultados de cloruros ( $\text{Cl}^-$ ), nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) y fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) de muestras de suelo (MS).

CÓDIGO	$\text{NO}_3^{-1}(\text{mg/kg})$	$\text{SO}_4^{2-}$ (mg/kg)	$\text{PO}_4^{3-}(\text{mg/kg})$	$\text{Cl}^- (\text{mg/kg})$
MS1	52,094	1016,537	70,691	349,631
MS2	57,466	186,555	69,725	327,601
MS3	110,490	226,167	8,3081	451,261
MS4	38,771	425,990	270,800	449,888
MS5	44,989	86,646	8,431	720,118
MS6	43,262	232,955	4,093	262,522
MS7	34,228	82,678	100,011	237,085
MS8	43,778	1130,899	34,326	406,780
MS9	80,704	102,955	15,941	419,559
MS10	52,905	352,702	55,700	350,609
MS11	45,466	86,289	4,082	106,153
MS12	40,678	89,342	11,073	881,769
MS13	87,613	301,316	7,583	166,291
MS14	34,380	85,234	80,930	290,952
MS15	41,931	236,101	25,737	697,678
<b>DMS</b>	2,545	30,959	1,322	34,061

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

##### 4.2.10.1. Sulfatos

De acuerdo con Moreno et al. (2022, pp. 6-8), pese a ser minerales muy comunes los sulfatos no suelen aparecer en los suelos, esto debido a su facilidad de lavado, es decir, presentan una solubilidad relativamente alta y su acumulación suele producirse bajo ciertas condiciones y en un clima árido o semiárido. Con los datos obtenidos en laboratorio podemos mencionar que, si presentaron valores altos, esto pudo deberse a las condiciones del suelo y del clima.

##### 4.2.10.2. Fosfatos

Según nos menciona el Grupo Sacsá (2015, p.1), en el suelo existen fosfatos como una forma química que combina fósforo y oxígeno, se añade al suelo a través de la fertilización, de materia orgánica en descomposición y del estiércol animal, se dice que no todo el fosfato presente en el suelo es apto para que utilicen las plantas. Con los datos obtenidos en laboratorio podemos

mencionar que los valores se los puede considerar normales debido a la fertilización que realizaban en dichos cultivos.

#### 4.2.10.3. Nitratos

Como nos indica el Grupo Sacsa (2015, p.1), el nitrato se encuentra de forma natural en el suelo y es fundamental para el crecimiento de las plantas, se conoce que alrededor del 90% del nitrógeno que es absorbido, está en forma de nitrato. Estos se añaden al suelo por el uso de fertilizantes, descomposición de la materia orgánica y del estiércol. Con los datos obtenidos en laboratorio podemos mencionar que se encuentran dentro de los valores normales y por ende es un indicativo de que son suelos fertilizados.

#### 4.2.10.4. Cloruros

Según menciona Torres y Zanabria (2017: pp.1-12), los cloruros son micronutrientes esenciales en los cultivos, pero en pequeñas cantidades, puesto que las altas concentraciones pueden llegar a ser tóxicos y contribuir a una salinidad total. Con los datos obtenidos en laboratorio podemos mencionar que se encuentran elevados los valores y por ende ser considerados tóxicos.

### 4.3. Resultados del análisis fisicoquímico del material vegetal

**Tabla 8-4:** Codificación de muestras y coordenadas geográficas de las zonas en estudio.

Código	Identificación	Zona	Coordenada
MB1	Muestra 1 de biomasa	4 Esquinas	-1.816988, -78.644532
MB2	Muestra 2 de biomasa	Cecel	-1.814977, -78.642283
MB3	Muestra 3 de biomasa	Pitzil	-1.851024, -78.633516
MB4	Muestra 4 de biomasa	San Antonio	-1.920292, -78.640591
MB5	Muestra 5 de biomasa	Vía Oriente	-1.941768, -78.631047
MB6	Muestra 6 de biomasa	Tunshi Grande	-1.921841, -78.638324
MB7	Muestra 7 de biomasa	Guayllabamba	-1.765221, -78.574271
MB8	Muestra 8 de biomasa	Shalapud	-2.278557, -78.916117
MB9	Muestra 9 de biomasa	Pistishí	-2.251994, -78.876732
MB10	Muestra 10 de biomasa	San Gerónimo	-1.607104, -78.593423
MB11	Muestra 11 de biomasa	San José de Chocón	-1.593704, -78.585108
MB12	Muestra 12 de biomasa	El Llano	-1.579984, -78.577879
MB13	Muestra 13 de biomasa	Santa Rosa de Cullo	-1.575638, -78.577684
MB14	Muestra 14 de biomasa	Santa Rosa de Cullo	-1.565293, -78.581867
MB15	Muestra 15 de biomasa	Valparaíso	-1.572346, -78.600153

Realizado por: Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

**Tabla 9-4:** Resultados de materia orgánica (MO), pH y conductividad eléctrica (CE) de muestras de material vegetal (MB).

CÓDIGO	Materia orgánica (%MO)	pH	Conductividad eléctrica (CE; dS/m)
MB1	87,232	5,56	0,003
MB2	37,271	6,74	0,003
MB3	83,748	6,53	0,005
MB4	80,716	6,50	0,005
MB5	75,773	6,84	0,005
MB6	87,827	5,56	0,006
MB7	79,711	4,59	0,005
MB8	85,601	6,24	0,004
MB9	87,439	5,38	0,003
MB10	76,837	4,40	0,003
MB11	89,353	5,32	0,002
MB12	85,477	5,59	0,003
MB13	83,644	5,35	0,002
MB14	84,233	6,66	0,004
MB15	63,363	5,42	0,006
DMS	0,869	0,22	0,001

Realizado por: Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

El análisis estadístico de los datos se realizó calculando la diferencia mínima significativa (DMS) con el software informático SPSS. El estadístico DMS permite determinar medias diferentes al comparar un grupo de datos. Analizando el porcentaje de materia orgánica de las muestras MB1<sup>5</sup> y MB2<sup>6</sup> se obtuvo un valor de 49,961 como diferencia, resultado mayor a la DMS para este grupo de datos que tomó un valor de 0,869; por lo tanto, existieron diferencias estadísticamente significativas entre los porcentajes comparados. Por otra parte, los resultados de las muestras MB13<sup>7</sup> y MB14<sup>8</sup> reportaron una diferencia de 0,589 por lo que al compararse con la DMS calculada, no presentaron diferencias significativas entre sí. Dicho análisis puede aplicarse a cualquier pareja de datos e interpretarse de manera similar.

#### 4.3.1.pH

Sierra et al. (2007, p. 4) menciona que el pH tiene un efecto sobre la disponibilidad y movilidad de nutrientes en las plantas, ya sea este positivo o negativo, por influir en la solubilidad de

<sup>5</sup> Muestra de tallos y hojas tomada en 4 Esquinas.

<sup>6</sup> Muestra de tallos y hojas tomada en Cecel

<sup>7</sup> Muestra de tallos y hojas tomada en Santa Rosa de Cullo

<sup>8</sup> Muestra de tallos y hojas tomada en Santa Rosa de Cullo

compuestos que propician el desarrollo óptimo del tejido vegetal. También mencionan que algunos elementos modifican su forma como resultado de las reacciones químicas que ocurren a nivel tisular, pudiendo absorber o no elementos dependiendo del estado en que se encuentren. Según los autores, la mayoría de los nutrientes están disponibles de manera adecuada a un valor neutro, cercano a un pH de 7 pudiendo bordear un rango entre 6,5 y 7,3.

Albán y Ruiz (2021, p. 88) reportan rangos de pH para material vegetal que va de 5,92 a 6,14. Dichos valores difieren de los rangos establecidos en la investigación ya que se encontraron entre 4,40 y 6,84 presentando el mayor número de muestras un pH entorno a la acidez. En base a lo expuesto anteriormente, niveles bajos de producción agrícola y de forraje podrían ser causados por una movilidad ineficiente de nutrientes a través del tejido vegetal.

#### ***4.3.2. Conductividad eléctrica***

Según Cremona & Enríquez (2020, pp. 6 – 9) la conductividad eléctrica está relacionada con el contenido de sales disueltas en el medio. La disponibilidad de nutrientes en tejidos vegetales también está directamente relacionada con su salinidad. Concentraciones bajas de sales propician el desempeño óptimo de funciones fisiológicas en la planta además de un desarrollo y crecimiento apropiado.

En la investigación realizada por Albán y Ruiz (2021, p. 89) la conductividad eléctrica de muestras vegetales tomó valores entre 4,33 y 7,94 dS/m siendo superiores a los determinados en la presente investigación, que se establecen dentro del rango de 0,002 y 0,006 dS/m.

Cremona & Enríquez (2020, pp. 6 – 9) clasifican a los suelos con CE menores o iguales a 1 como no salinos, encontrando a todas las zonas analizadas en el estudio dentro de esta clasificación. Conjuntamente Partida et al. (2006, pp. 83 – 84) señala que en suelos con salinidad baja existe un desarrollo apropiado de cultivos debido a un buen aporte de agua y nutrientes. Considerando esta información y al reportar CE bajas tanto en suelos como muestras vegetales, la producción agrícola en las zonas estudiada no se vería influenciada negativamente por factores de salinidad.

#### ***4.3.3. Materia orgánica***

Ruiz et al. (2018, p. 21) determinó porcentajes de materia orgánica en muestras vegetales en promedio de 45%, valores que difieren a los encontrados por Albán y Ruiz (2021, p. 89) en muestras de forraje donde el promedio se situó en el 88% de MO en base seca. Las matrices orgánicas analizadas presentaron resultados similares a los reportados por Albán y Ruiz (2021, p. 88).

Según Ruiz et al. (2018, pp. 20 – 22) la MO está conformada por C, N, H, O, P y S en diferentes proporciones y representa aproximadamente entre el 75 y 90% del peso seco de una matriz orgánica vegetal sin embargo este rango puede variar ampliamente dependiendo de la especie

vegetal en cuestión. Así, las muestras tomadas en las zonas de Cecel y Valparaíso reportaron un contenido de MO inferior al esperado según la bibliografía.

#### 4.3.4. Macronutrientes

**Tabla 10-4:** Resultados de macronutrientes fósforo (P), sodio (Na) y potasio (K) de muestras de material vegetal (MB).

<b>CÓDIGO</b>	<b>Fósforo (P; %)</b>	<b>Sodio (Na; ppm)</b>	<b>Potasio (K; ppm)</b>
MB1	0,024	250,038	20014,665
MB2	0,080	813,350	7132,811
MB3	0,161	340,745	24403,166
MB4	0,161	621,254	13080,617
MB5	0,162	1023,576	5822,907
MB6	0,150	499,900	15042,714
MB7	0,205	628,800	10982,152
MB8	0,164	125,750	11817,751
MB9	0,127	376,393	6542,885
MB10	0,134	839,649	8048,003
MB11	0,147	486,086	3857,850
MB12	0,125	667,139	8310,522
MB13	0,098	464,314	5397,641
MB14	0,133	372,693	15348,023
MB15	0,147	468,348	9030,750
<b>DMS</b>	0,001	35,113	1,05E+03

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

Martínez et al. (2017, pp. 92 – 101) manifiesta que el contenido adecuado de macronutrientes se verá reflejado en un crecimiento adecuado y supervivencia en la planta. Además, Rodríguez y Flores (2004, p. 25) mencionan que estos nutrientes pueden encontrarse en tejidos vegetales en concentraciones superiores a 0,1% (1000 ppm), con base en la materia seca.

Las concentraciones óptimas de macronutrientes según lo expuesto por Martínez et al. (2017, pp. 92 – 101) son inferiores a 1340 ppm para el sodio, de 8000 a 10000 ppm para el potasio mientras que para el fósforo se encuentra entre 0,1 y 0,3% como indican Kyrkby y Romheld (2004, p.1).

##### 4.3.4.1. Sodio

La dotación adecuada de sodio garantiza expansión celular importante para la retención de agua y balance hídrico mientras que las bajas concentraciones se manifiestan de manera general con un estancamiento del desarrollo de la planta (Rodríguez & Flores; 2004, p. 27). Sin embargo, no es

considerado un macronutriente como tal, debido a que las especies vegetales reaccionan de manera diferente a la presencia de sodio en suelo y agua generando estrés salino cuando sus concentraciones son elevadas.

Los rangos de sodio para las zonas muestreadas estuvieron entre 125,0 y 1024,0 ppm. Al comparar las concentraciones con las mostrados por Albán y Ruiz (2021, p. 94) se observó gran diferencia con los valores experimentales ya que sus rangos se establecen de 17400 a 415000 ppm. Finalmente, con lo expuesto por Martínez et al. (2017, pp. 92 – 101) el nivel de sodio determinado fue óptimo en todos puntos de muestreo por encontrarse debajo de los 1340 ppm.

#### *4.3.4.2. Potasio*

El potasio el elemento clave para la mayoría de los procesos fisiológicos del tejido vegetal ya que juega un papel importante en el metabolismo de los carbohidratos y las proteínas. Además, participa en el control de la pérdida de agua por la regulación de la apertura estomatal, relacionada con la absorción de CO<sub>2</sub> y transpiración. A concentraciones bajas, por el contrario, se expresan deficiencias de almidón, aumento de compuestos nitrogenados solubles, órganos débiles y acidez en el fruto (Rodríguez & Flores; 2004, p. 27).

Albán y Ruiz (2021, p. 91) reportan en su investigación un rango de concentraciones del elemento que van de 9000 a 15000 ppm siendo diferentes a los encontrados en la presente investigación que se establecieron entre 3858 y 24403 ppm. Las zonas de Cecel, Pitzil San Antonio, Tunshi Grande y Santa Rosa de Cullo mostraron niveles sobre el rango óptimo de potasio mientras que las zonas de Cecel, Vía Oriente, Pisttishí y Santa Rosa de Chocón niveles bajos.

#### *4.3.4.3. Fósforo*

El fósforo por otra parte interviene e en el metabolismo energético de la planta, porque hace parte de las moléculas AMP, ADP y ATP, forma parte de los ácidos nucleicos ADN y ARN, participa en la fotosíntesis, la respiración y la síntesis de almidón. Su deficiencia afecta el desarrollo debido a una baja producción de proteínas, almidón, celulosa y sacarosa (Arroyo; 2016, p. 2).

El contenido de fósforo en las zonas de muestreo difiere con lo expuesto por Albán y Ruiz (2021, p. 91) quienes reportaron un promedio de fósforo de 0,01%. Las zonas donde el contenido fue inferior al óptimo fueron 4 Esquinas, Cecel y Santa Rosa de Cullo.

#### 4.3.5. Micronutrientes

**Tabla 11-4:** Resultados de micronutrientes manganeso (Mn), zinc (Zn), hierro (Fe) y cobre (Cu) de muestras de material vegetal (MB).

<b>CÓDIGO</b>	<b>Manganeso (Mn; ppm)</b>	<b>Zinc (Zn; ppb)</b>	<b>Hierro (Fe; ppm)</b>	<b>Cobre (Cu; ppb)</b>
MB1	29,451	27239,711	716,136	4016,390
MB2	88,831	17077,150	3696,700	8680,651
MB3	30,977	28200,128	496,237	1162,003
MB4	32,627	25711,739	569,268	2115,218
MB5	79,469	28057,112	2916,580	14707,047
MB6	13,567	23687,404	40,172	3063,142
MB7	26,842	13454,837	300,823	2904,702
MB8	17,961	16275,440	3223,882	3235,591
MB9	69,864	29431,033	7167,408	4492,178
MB10	66,688	25643,530	48,328	3218,704
MB11	12,271	21939,675	2612,939	3564,399
MB12	302,471	24646,628	11535,476	4288,777
MB13	27,434	15280,295	395,663	2794,741
MB14	30,247	26083,676	3538,079	7276,670
MB15	46,337	13926,034	2399,154	5541,544
<b>DMS</b>	3,458	1438,913	84,651	1867,124

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

##### 4.3.5.1. Hierro

Participa en la biosíntesis de la clorofila mediante la misma vía de biosíntesis de las proteínas hemo a protoporfirina, cataliza la función de algunas enzimas y está ligado a la cadena transportadora de electrones. El principal problema ligado al exceso de hierro en órganos vegetales es que dificulta la absorción y asimilación correcta del fósforo. A concentraciones por debajo de las necesarias, los órganos de la planta pueden observarse cloróticos y poco turgentes. Además, por la disminución de la actividad fotosintética se evidencia también disminución del contenido de carbohidratos totales en los tejidos. El contenido óptimo de hierro es de 100 ppm (Kyrkby y Romheld; 2007, p.1).

Las concentraciones de hierro fueron óptimas únicamente en las zonas de Tunshi Grande y San Gerónimo. Las demás zonas mostraron concentraciones por encima de los 100 ppm. Dichos resultados difieren de los presentados por Martínez et al. (2017, pp. 92 – 101) cuyos rangos fueron de 4 a 40 ppm cuantificados en especies forrajeras.

#### 4.3.5.2. Cobre

Interviene en la síntesis de clorofila y forma parte de numerosas enzimas en la planta. Relacionado también con la biosíntesis de lignina y alcaloides y en la formación de sustancias melanóticas. Plantas con déficit de cobre presentan marchitamiento en las hojas, lo cual provoca dificultades en el transporte del agua debido a una insuficiente lignificación del xilema además de bajas tasas fotosintéticas y, por lo tanto, bajos niveles de carbohidratos. Por otra parte, el exceso de cobre podría inhibir el crecimiento de órganos vegetales, causar un daño oxidativo a las células e interferir con el proceso de fotosíntesis (Rodríguez & Flores; 2004, p. 30). Los niveles óptimos de cobre se sitúan en 6 ppm (6000 ppb) (Kyrkby y Romheld; 2007, p.1).

El rango de concentración del elemento se encontró entre 1162 y 14740 ppb. Las zonas con concentraciones óptimas para el desarrollo de los cultivos fueron Pistishí, El Llano, Santa Rosa de Cullo y Valparaíso. Estos resultados son inferiores a los reportados por Bravo et al. (2004, p.33) quienes cuantificaron 1,6 ppm (1600 ppb) del metal promedio en matrices vegetales.

#### 4.3.5.3. Manganeso

Es necesario en el proceso fotosintético ya que participa en la fotólisis del agua y parece ser parte estructural de los ribosomas. Su deficiencia estaría relacionada con una reducción de la tasa fotosintética. Las deficiencias aparecen en forma de puntos de color gris verdoso o puntos amarillos en las hojas jóvenes. Los carbonatos y el fósforo en cambio disminuyen la disponibilidad de este micronutriente (Rodríguez & Flores; 2004, p. 31). Los niveles óptimos de manganeso están entre 35 y 55 ppm (Kyrkby y Romheld; 2007, p.1).

Las concentraciones del metal oscilaron entre 12,3 y 302,5 ppm. Concentraciones óptimas para el desarrollo de los cultivos se encontraron en Pitzil, San Antonio y Valparaíso. Los resultados se compararon con los cuantificados por Quintana & Salvatierra (2016, p. 42) quienes reportaron un contenido promedio de 14,1 ppm de manganeso en plantas de la especie *Datura arbórea* muestreadas en una zona de Tungurahua.

#### 4.3.5.4. Zinc

A concentraciones óptimas mantiene la estructura e integridad de la membrana de la célula vegetal y el control de la permeabilidad; también protege la planta contra varios agentes patógenos. Cuando existe deficiencia las membranas pierden sus características de permeabilidad de tal modo que los carbohidratos y los aminoácidos son liberados, atrayendo patógenos e insectos hacia raíces y nuevos brotes. Las concentraciones de Zn en los tejidos se encuentran entre 15 y 30 ppm (15000 y 30000 ppb) pudiendo aumentar en plantas con alto contenido de P. Un exceso provoca



deficiencia de nutrientes como el fósforo, magnesio y manganeso debido a la competencia que se genera por su absorción en las raíces (Kyrkby y Romheld; 2007, pp. 13 – 15).

La cuantificación de zinc en las zonas muestreadas presentó rangos que van de 13454 a 29431 ppb encontrándose dentro de los rangos reportados por la bibliografía como óptimos. Los valores presentados en la investigación fueron inferiores a los reportados por Alpizar y Díaz (2009, pp. 34 – 39) quienes determinaron zinc en cuatro diferentes matrices vegetales reportando concentraciones con un rango de 80000 a 100000 ppb.

#### 4.3.6. Análisis carbono, nitrógeno y relación C/N

**Tabla 12-4:** Resultados de carbono orgánico (Corg), nitrógeno total (NT) y relación carbono – nitrógeno (C/N) de muestras de material vegetal.

<b>CÓDIGO</b>	<b>Carbono orgánico (%Corg)</b>	<b>Nitrógeno total (%NT)</b>	<b>Relación C/N</b>	<b>Cloruros (Cl; ppm)</b>
MB1	38,204	1,750	21,875	510,398
MB2	24,778	2,218	11,195	808,572
MB3	42,256	2,019	20,881	949,529
MB4	41,275	1,966	20,996	623,560
MB5	26,460	1,549	17,098	1233,383
MB6	40,019	1,644	24,322	580,997
MB7	19,780	1,716	11,509	566,793
MB8	18,461	1,675	11,035	977,462
MB9	21,353	1,808	11,785	651,823
MB10	20,251	1,264	16,026	396,994
MB11	17,245	2,415	7,191	1006,028
MB12	27,239	1,928	14,155	637,628
MB13	22,497	2,069	10,828	977,895
MB14	19,963	2,070	9,581	425,202
MB15	20,713	1,091	19,007	623,907
<b>DMS</b>	1,865	0,010	0,115	52,660

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

##### 4.3.6.1. Carbono y nitrógeno

Al ser el carbono el elemento presente en mayor cantidad en organismos vivos, es de esperarse que se encuentre en altos porcentajes en tejidos vegetales. Según Koritschoner (2019, p. 8) el carbono orgánico presente en tejidos vegetales puede ser soluble formando parte de un número variado de compuestos como el almidón y glucosa que representan entre el 5 y 35% del peso seco de la planta Valdés et al. (2019, p. 615 – 627) o estructural en moléculas más complejas como la lignina y hemicelulosa pudiendo encontrarse entre el 10 y 20% en especies vegetales. Koritschoner también

menciona que la celulosa al ser el principal compuesto carbonado en tejidos vegetales representa entre el 20 y 30% de su peso seco por lo que el rango establecido de carbono orgánico total en plantas va del 35 al 80%.

El nitrógeno forma parte proteínas, lípidos y ácidos nucleicos siendo la atmósfera la reserva principal de nitrógeno en el planeta. La mayoría de los seres vivos no pueden utilizar el nitrógeno elemental de la atmósfera para elaborar aminoácidos ni otros compuestos nitrogenados, de modo que dependen del nitrógeno que existe en las sales minerales del suelo. Las plantas aprovechan el nitrógeno del suelo para la formación en mayor proporción de proteínas por lo que el porcentaje de proteína está ligado al porcentaje de nitrógeno en tejidos vegetales. Parsi et al. (2001, p. 4) manifiesta que el contenido de proteína en especies vegetales puede ir del 6 al 22% dependiendo la especie, lo que nos daría un contenido de N entre 0,90 y 4,0%.

Albán y Ruiz (2021, p. 94) encontraron un contenido de carbono orgánico en su investigación entre 38,03 y 48,39% mientras que el nitrógeno estuvo entre el 1,00 y 2,92%. Estos valores difieren de los determinados experimentalmente donde el rango para el carbono fue de 17,24 a 42,26% estando por debajo de los encontrados en bibliografía posiblemente por un bajo contenido de carbohidratos solubles en la planta. Con el nitrógeno los rangos son similares estando entre 1,09 a 2,41% que se mantienen dentro de los especificados en la literatura por lo que el contenido proteico de las muestras vegetales sería el adecuado para su desarrollo.

#### *4.3.6.2. Relación carbono – nitrógeno*

Indica el grado de interacción entre el contenido de carbono y nitrógeno en una matriz. Hay que acotar que el contenido de nitrógeno orgánico presente en un residuo es biodegradable siendo absorbido y haciéndolo disponible en el suelo para su uso por otros organismos vivos. Con el carbono orgánico pasa lo contrario debido a que una parte importante forma parte de compuestos que no se degradan con facilidad lo que limita su reciclaje (Sinaluisa; 2021 p. 20).

Hernández et al. (2007, p. 8) también manifiesta que las relaciones C/N en material vegetal puede encontrarse entre 9 y 50 en dependencia de varios factores como la edad o estado de senescencia de la planta. Ambientum por otra parte, menciona que como valor deseable en la biomasa la relación C/N puede tomar valores inferiores a 20,90.

Los resultados obtenidos en las zonas de muestreo para este apartado se mantuvieron dentro de los rangos citados por Hernández et al. (2007, p. 8) además de ser inferiores a 50 en concordancia con lo mencionado por Ambientum. En base a esta evidencia se aseguraría la disponibilidad y reciclaje idóneo de nitrógeno y nutrientes en suelos cultivables estudiados.

### 4.3.7. Análisis de aniones

#### 4.3.7.1. Cloruros

Villa et al. (2006, p. 79 – 81) expone que concentraciones excesivas de cloro, aun siendo un elemento esencial, pueden causar toxicidad en el tejido vegetal al producir quemaduras en las hojas, disminución de la fotosíntesis e inhibiendo la absorción de nitratos. Rosales y Álvarez (2020, pp. 2 – 4) establecen como rango óptimo un contenido de cloruros que va de 200 a 1500 ppm en dependencia de la especie vegetal y la salinidad del suelo donde se ha desarrollado. Los rangos encontrados de cloruros se mantuvieron dentro de lo especificado en la bibliografía con un rango de 396,9 a 1233,4 ppm.

### 4.4. Análisis de metales pesados

En Ecuador, la norma NTE INEN – CODEX ALIMENTARIUS 193:2013 (1995, pp. 28 – 31) establece los límites de contaminantes como metales pesados en productos vegetales y alimenticios para consumo humano. Para el arsénico se indica un límite máximo permisible de 0,1 ppm para alimentos en general mientras que aguas naturales minerales se reduce a 0,01 ppm. El cadmio en legumbres, hortalizas, tallos y raíces alcanza un límite permisible de 0,05 ppm y en aguas minerales naturales de 0,003 ppm. Con el plomo se reportan límites de 0,1 ppm en hortalizas, legumbres y frutas, y de 0,01 ppm en aguas para consumo humano. Para el mercurio el Codex Alimentarius establece límites en aguas minerales naturales 0,001 ppm y en sal alimentaria 0,1 ppm. Para el selenio se tomó como referencia los límites indicados por la EPA ya que en el Codex Alimentarius no se reporta, situando el límite permisible máximo en alimentos a una concentración de 0,05 ppm.

#### 4.4.1. Metales pesados en suelos

**Tabla 13-4:** Metales pesados cuantificados en muestras de suelo (MS).

CÓDIGO	CADMIO (Cd; ppm)	PLOMO (Pb; ppm)	MERCURIO (Hg; ppb)	ARSÉNICO (As; ppb)	SELENIO (Se; ppb)
MS1	<0,25	<4	<50	362,393	<200
MS2	<0,25	0,012	<50	276,460	<200
MS3	<0,25	<4	<50	328,020	<200
MS4	<0,25	<4	<50	<125	<200
MS5	<0,25	<4	<50	543,928	<200
MS6	<0,25	<4	<50	<125	<200
MS7	<0,25	<4	<50	158,301	<200

MS8	<0,25	0,171	<50	1151,907	<200
MS9	<0,25	0,001	<50	<125	<200
MS10	<0,25	0,055	<50	347,355	325,219
MS11	<0,25	0,013	<50	<125	<200
MS12	<0,25	<4	<50	<125	<200
MS13	<0,25	0,009	<50	259,273	<200
MS14	<0,25	<4	<50	959,631	<200
MS15	<0,25	0,126	<50	<125	<200
<b>DMS</b>	ND	0,023	ND	132,998	ND

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

#### 4.4.1.1. Cadmio y plomo

De acuerdo con Herrera (2000: pp. 42-47), el cadmio es un metal pesado que tiene una gran movilidad y facilidad de ser absorbido por las plantas, por lo cual representa un problema grave para la salud. Una de las maneras en que el cadmio se incorpora al suelo es por fertilización fosfática. El nivel promedio que debe existir oscila entre 0.07 y 1.1 ppm, con un nivel base natural que no debe exceder 0.5 ppm.

Conforme a Tello et al., (2018: pp. 1-12), la presencia de plomo representa un peligro grave para la salud por ser altamente reactivo, suele ser altamente persistente en el medio ambiente pues es no biodegradable.

A nivel de suelo, las concentraciones de cadmio y plomo se encontraron por debajo del límite de cuantificación (LC) del método. Quino et al. (2007, pp. 53 – 57) manifiesta que el LC se puede definir como la cantidad más pequeña de un analito que se pueda cuantificar confiablemente por un instrumento. Fundamentándonos en lo anteriormente mencionado por los autores, las concentraciones de plomo y cadmio inferiores al LC no pueden considerarse como resultados fiables dentro de la investigación al ser inexactos sin embargo no se descarta su presencia en cantidades traza por lo que guiaría a su determinación con métodos analíticos instrumentales más sensibles.

#### 4.4.1.2. Mercurio

Para este metal pesado ocurre lo mismo que en el Cd y Pb, es decir, se encuentran por debajo del LC. Por lo tanto, las concentraciones de Hg inferiores al LC no pueden considerarse como resultados fiables dentro de la investigación al ser inexactos sin embargo no se descarta su presencia en cantidades traza por lo que guiaría a su determinación con métodos analíticos instrumentales más sensibles.

Como nos menciona Goana (2004: pp. 12-15), una vez que el Hg se incorpora al suelo está sujeto a muchas reacciones químicas y biológicas. Se encuentra tanto en forma orgánica e inorgánica, pese a que algunos compuestos inorgánicos son bastante solubles, suelen formar complejos con la materia orgánica y arcillas de los suelos, lo cual dificulta en gran medida la movilidad del Hg en el suelo.

#### 4.4.1.3. Arsénico y Selenio

Como nos menciona Pérez (2015: 1-23), el arsénico es un metaloide que está presente de manera natural en el medio ambiente, lo podemos encontrar de distintas formas y en estado sólido o líquido, la concentración típica del arsénico en el suelo, bajo condiciones aeróbicas son <50 nM en suelos no contaminados y en suelos contaminados son valores hasta 2 mM.

Para este metal pesado encontramos que las muestras MS4<sup>9</sup>, MS6<sup>10</sup>, MS9<sup>11</sup>, MS11, MS12<sup>12</sup>, MS15<sup>13</sup> presentaron valores inferiores al LC y por lo tanto, no pueden considerarse como resultados fiables dentro de la investigación al ser inexactos sin embargo no se descarta su presencia en cantidades traza por lo que guiaría a su determinación con métodos analíticos instrumentales más sensibles. Las demás muestras de suelo se encuentran con valores elevados fuera de lo establecido por la EPA que indica un límite máximo permisible de 0,01 ppm (10 ppb), por lo cual implicaría un riesgo para la salud.

Según lo que nos menciona Camps (2001: pp. 31-44), el Se se encuentra bastante distribuido entre la corteza terrestre, pero de una forma poco uniforme, sus concentraciones por lo general varían entre 0.01 y 2 mg.kg<sup>-1</sup>, si supera dichos valores generalmente se lo asocia a suelos formados a partir sedimentos marítimos mientras que por el contrario sus niveles inferiores son indicativos de trastornos severos de crecimiento y productividad.

En los valores obtenidos en selenio todo se encuentran por debajo del LC. Por lo tanto, las concentraciones de Se no pueden considerarse como resultados fiables dentro de la investigación al ser inexactos sin embargo no se descarta su presencia en cantidades traza por lo que guiaría a su determinación con métodos analíticos instrumentales más sensibles. Sin embargo, la muestra MS10<sup>14</sup> presento un valor de 325,219 ppb, el cual se encuentra dentro de los rangos establecidos de la EPA, por debajo 1 ppm (1000 ppb) o en el caso de suelo selenífero va de 4 a 100 ppm.

---

<sup>9</sup> Muestra de suelo tomada en San Antonio

<sup>10</sup> Muestra de suelo tomada en Tunshi Grande

<sup>11</sup> Muestra de suelo tomada en Pistishí

<sup>12</sup> Muestra de suelo tomada en El Llano

<sup>13</sup> Muestra de suelo tomada en Valparaíso

<sup>14</sup> Muestra de suelo tomada en San Gerónimo

#### 4.4.2. Metales pesados en material vegetal

##### 4.4.2.1. Metales pesados en la raíz

**Tabla 14-4:** Codificación de muestras y coordenadas geográficas de las zonas en estudio.

Código	Identificación	Zona	Coordenada
MR1	Muestra 1 de raíz	4 Esquinas	-1.816988, -78.644532
MR2	Muestra 2 de raíz	Cecel	-1.814977, -78.642283
MR3	Muestra 3 de raíz	Pitzil	-1.851024, -78.633516
MR4	Muestra 4 de raíz	San Antonio	-1.920292, -78.640591
MR5	Muestra 5 de raíz	Vía Oriente	-1.941768, -78.631047
MR6	Muestra 6 de raíz	Tunshi Grande	-1.921841, -78.638324
MR7	Muestra 7 de raíz	Guayllabamba	-1.765221, -78.574271
MR8	Muestra 8 de raíz	Shalapud	-2.278557, -78.916117
MR9	Muestra 9 de raíz	Pistishi	-2.251994, -78.876732
MR10	Muestra 10 de raíz	San Gerónimo	-1.607104, -78.593423
MR11	Muestra 11 de raíz	San José de Chocón	-1.593704, -78.585108
MR12	Muestra 12 de raíz	El Llano	-1.579984, -78.577879
MR13	Muestra 13 de raíz	Santa Rosa de Cullo	-1.575638, -78.577684
MR14	Muestra 14 de raíz	Santa Rosa de Cullo	-1.565293, -78.581867
MR15	Muestra 15 de raíz	Valparaíso	-1.572346, -78.600153

Realizado por: Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

**Tabla 15-4:** Metales pesados cuantificados en muestras de raíces (MR).

CÓDIGO	CADMIO (Cd; ppm)	PLOMO (Pb; ppm)	MERCURIO (Hg; ppb)	ARSÉNICO (As; ppb)	SELENIO (Se; ppb)
MR1	<0,12	<2	169,069	<60	<100
MR2	<0,12	<2	160,071	<60	<100
MR3	<0,12	<2	159,109	<60	<100
MR4	<0,12	<2	170,710	<60	<100
MR5	<0,12	<2	169,069	<60	<100
MR6	<0,12	<2	166,670	<60	<100
MR7	<0,12	<2	160,069	<60	<100
MR8	<0,12	<2	29,094	<60	<100
MR9	<0,12	<2	29,094	<60	<100
MR10	<0,12	<2	71,087	<60	<100
MR11	<0,12	<2	73,199	<60	<100
MR12	<0,12	<2	75,911	<60	<100
MR13	<0,12	<2	76,918	<60	<100

MR14	<0,12	<2	78,099	<60	<100
MR15	<0,12	<2	73,018	<60	<100
<b>DMS</b>	ND	ND	1,223	ND	ND

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

#### ▪ *Cadmio y plomo*

A nivel de raíces, las concentraciones de cadmio y plomo se encontraron por debajo del límite de cuantificación (LC) del método. Quino et al. (2007, pp. 53 – 57) manifiesta que el LC se puede definir como la cantidad más pequeña de un analito que se pueda cuantificar confiablemente por un instrumento. Basándose en lo mencionado por los autores, las concentraciones de plomo y cadmio inferiores al LC no pueden considerarse como resultados fiables dentro de la investigación al ser inexactos sin embargo no se descarta su presencia en cantidades traza por lo que orientaría a su determinación con métodos analíticos instrumentales más sensibles.

A pesar de esta particularidad, se observó tanto en el caso del cadmio como del plomo que las concentraciones en la raíz superaron el límite máximo permisible indicado por el Codex Alimentarius, pero al ser productos que no son de consumo humano no supondrían un riesgo para salud directa de la población.

#### ▪ *Mercurio*

Para este metal pesado, las muestras MR9<sup>15</sup> y MR10<sup>16</sup> reportan concentraciones de mercurio por debajo del LC. Para las demás, se estableció un rango que va de 71,087 a 170,710 ppm superando el límite máximo permisible indicado en el Codex Alimentarius. Sin embargo, al no tratarse de alimentos de consumo directo como se mencionó anteriormente, no conllevan riesgo en la salud humana.

#### ▪ *Selenio y arsénico*

Las concentraciones de arsénico y selenio se encontraron por debajo del límite de cuantificación (LC) del método por lo que no se pudo indicar si las concentraciones en la raíz superaron el límite máximo permisible indicado por el Codex Alimentarius, pero al ser productos que no son de consumo primario no supondrían un riesgo directo para la salud de la población.

<sup>15</sup> Muestra de raíz tomada en Pistishí

<sup>16</sup> Muestra de raíz tomada en San Gerónimo

#### 4.4.2.2. Metales pesados en la parte aérea

**Tabla 16-4:** Metales pesados cuantificados en muestras hojas y tallos (MB).

CÓDIGO	CADMIO (Cd; ppm)	PLOMO (Pb; ppm)	MERCURIO (Hg; ppb)	ARSÉNICO (As; ppb)	SELENIO (Se; ppb)
MB1	<0,12	<2	<25	<60	<100
MB2	<0,12	0,011	<25	<60	<100
MB3	<0,12	<2	<25	<60	<100
MB4	<0,12	<2	<25	<60	<100
MB5	<0,12	<2	<25	<60	<100
MB6	<0,12	<2	<25	<60	<100
MB7	<0,12	<2	<25	<60	<100
MB8	<0,12	0,170	<25	<60	<100
MB9	<0,12	<2	<25	<60	<100
MB10	<0,12	0,051	<25	<60	<100
MB11	<0,12	0,013	<25	<60	<100
MB12	<0,12	<2	<25	313,317	<100
MB13	<0,12	0,011	<25	<60	<100
MB14	<0,12	<2	<25	<60	<100
MB15	<0,12	0,130	<25	<60	<100
DMS	ND	0,023	ND	ND	ND

Realizado por: Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

#### ▪ Cadmio y mercurio

Los metales cadmio y mercurio en muestras de hojas y tallos presentaron concentraciones inferiores al LC y límite de detección (LD) del equipo. Quino et al. (2007, pp. 53 – 57) define al LD como la concentración más baja de un analito que se puede distinguir claramente a partir del cero por lo que se descartó la presencia de estos contaminantes en las muestras procesadas.

#### ▪ Plomo

Los niveles de plomo en las muestras MB2, MB8<sup>17</sup>, MB10<sup>18</sup>, MB11<sup>19</sup>, MB13 y MB15<sup>20</sup> fueron inferiores al LC del instrumento. Las muestras que superaron los límites máximos permisibles establecidos por el Codex Alimentarius fueron la MB8 y MB15 con concentraciones de 0,170 y 0,130 ppm respectivamente. La parte aérea considerada en la investigación fueron hojas y tallos de diferentes especies vegetales algunas de ellas comestibles por lo que habría implicaciones en

<sup>17</sup> Muestra de tallos y hojas tomada en Shalapud

<sup>18</sup> Muestra de tallos y hojas tomada en San Gerónimo

<sup>19</sup> Muestra de tallos y hojas tomada en San José de Chocón

<sup>20</sup> Muestra de tallos y hojas tomada en Valparaíso



la salud del consumidor. Prieto et al (2009, pp.37 – 38) asocia a la exposición crónica de plomo trastornos como retardo en el desarrollo físico y mental, leve déficit de atención y patologías renales e hipertensión.

▪ *Selenio y arsénico*

En tallos y hojas las concentraciones de arsénico y selenio estuvieron por debajo del límite de cuantificación (LC) del método por lo que no se pudo indicar si el contenido de los metales superó el límite máximo permisible indicado por el Codex Alimentarius, pero al ser productos que no son de consumo humano no supondrían un riesgo directo para la salud.

4.4.2.3. *Metales pesados en alimentos*

**Tabla 17-4:** Codificación de muestras y coordenadas geográficas de las zonas en estudio.

Código	Identificación	Zona	Coordenada
MA1	Muestra 1 de alimentos	4 Esquinas	-1.816988, -78.644532
MA2	Muestra 2 de alimentos	Cecel	-1.814977, -78.642283
MA3	Muestra 3 de alimentos	Pitzil	-1.851024, -78.633516
MA4	Muestra 4 de alimentos	San Antonio	-1.920292, -78.640591
MA5	Muestra 5 de alimentos	Vía Oriente	-1.941768, -78.631047
MA6	Muestra 6 de alimentos	Tunshi Grande	-1.921841, -78.638324
MA7	Muestra 7 de alimentos	Guayllabamba	-1.765221, -78.574271
MA8	Muestra 8 de alimentos	Shalapud	-2.278557, -78.916117
MA9	Muestra 9 de alimentos	Pistishi	-2.251994, -78.876732
MA10	Muestra 10 de alimentos	San Gerónimo	-1.607104, -78.593423
MA11	Muestra 11 de alimentos	San José de Chocón	-1.593704, -78.585108
MA12	Muestra 12 de alimentos	El Llano	-1.579984, -78.577879
MA13	Muestra 13 de alimentos	Santa Rosa de Cullo	-1.575638, -78.577684
MA14	Muestra 14 de alimentos	Santa Rosa de Cullo	-1.565293, -78.581867
MA15	Muestra 15 de alimentos	Valparaíso	-1.572346, -78.600153

Realizado por: Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

**Tabla 18-4:** Metales pesados cuantificados en muestra de alimentos (MA).

CÓDIGO	CADMIO (Cd; ppm)	PLOMO (Pb; ppm)	MERCURIO (Hg; ppb)	ARSÉNICO (As; ppb)	SELENIO (Se; ppb)
MA1	<0,12	0,046	<25	<60	<100
MA2	<0,12	0,041	<25	<60	<100
MA3	<0,12	0,042	<25	<60	<100

MA4	<0,12	0,047	<25	<60	<100
MA5	<0,12	0,045	<25	<60	<100
MA6	<0,12	0,045	<25	<60	<100
MA7	<0,12	0,046	<25	<60	<100
MA8	<0,12	0,054	<25	<60	<100
MA9	<0,12	0,053	<25	<60	<100
MA10	<0,12	0,007	<25	<60	<100
MA11	<0,12	0,007	<25	<60	<100
MA12	<0,12	0,077	<25	<60	<100
MA13	<0,12	0,074	<25	<60	<100
MA14	<0,12	0,073	<25	<60	<100
MA15	<0,12	0,078	<25	<60	<100
DMS	ND	0,023	ND	ND	ND

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

#### ▪ *Cadmio y mercurio*

Los metales cadmio y mercurio en muestras de alimentos presentaron concentraciones inferiores al LC y límite de detección (LD) del equipo. Quino et al. (2007, pp. 53 – 57) define al LD como la concentración más baja de un analito que se puede distinguir claramente a partir del cero por lo que se descartó la presencia de estos contaminantes en las muestras procesadas.

#### ▪ *Plomo*

En alimentos, los niveles de plomo se encontraron por debajo del límite de cuantificación (LC) del método motivo por el que no pueden considerarse como resultados fiables dentro de la investigación. Sin embargo, no se descarta su presencia en cantidades traza por lo que sería importante su análisis métodos instrumentales más sensibles. Las concentraciones del metal en alimentos oscilaron entre 7,77E-02 y 4,08E-02 ppm siendo inferiores al límite máximo permisible establecido por el Codex Alimentarius por lo que no suponen efectos negativos en la salud de la población consumidora.

#### ▪ *Selenio y arsénico*

Las concentraciones de arsénico y selenio estuvieron por debajo del límite de cuantificación (LC) del método por lo que no se pudo indicar si los contaminantes superaron el límite máximo permisible en alimentos indicado por el Codex Alimentarius. Al ser productos de consumo

humano, se debería analizar las muestras con métodos más sensibles y con límites de cuantificación inferiores a los tomados para la investigación.

#### 4.5. Análisis de correlación de resultados entre suelos y biomasa

Para el estudio de correlación de los resultados experimentales se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson. Dicho estadístico facilita evidenciar el grado de asociación de dos variables cuantitativas y continuas. Así, una vez recopilada la información y calculado el coeficiente de correlación (r) se reportó los valores y su significancia S (significativo) y NS (no significativo) en las tablas 15-4, 15-5 y 15-6 tanto para suelos como biomasa.

##### 4.5.1. Propiedades físico – químicas

**Tabla 19-4:** Análisis de correlación de materia orgánica, pH y conductividad eléctrica para suelos y biomasa (MSB).

CÓDIGO	MATERIA ORGÁNICA		pH		CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	
	Suelo	Biomasa	Suelo	Biomasa	Suelo	Biomasa
	MSB1	5,103	87,232	8,20	5,56	0,113
MSB2	6,330	37,271	7,77	6,74	0,055	0,003
MSB3	4,735	83,748	7,45	6,53	0,041	0,005
MSB4	2,611	80,716	7,57	6,50	0,025	0,005
MSB5	2,641	75,773	7,33	6,84	0,073	0,005
MSB6	3,676	87,827	7,61	5,56	0,035	0,006
MSB7	5,305	79,711	7,57	4,59	0,113	0,005
MSB8	9,257	85,601	7,31	6,24	0,082	0,004
MSB9	3,728	87,439	7,16	5,38	0,092	0,003
MSB10	6,252	76,837	6,99	4,40	0,075	0,003
MSB11	7,072	89,353	7,13	5,32	0,103	0,002
MSB12	1,579	85,477	7,59	5,59	0,092	0,003
MSB13	7,232	83,644	8,29	5,35	0,094	0,002
MSB14	3,480	84,233	7,35	6,66	0,034	0,004
MSB15	2,464	63,363	8,10	5,42	0,065	0,006
<b>r</b>	-1,76E-02		1,05E-02		-5,58E-01	
<b>Sig.</b>	NS		NS		NS	

Realizado por: Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

En el caso de las propiedades físico – químicas, materia orgánica, pH y conductividad eléctrica de suelos y biomasa el coeficiente de correlación “r” presentó valores de -0,0176; 0,0105 y -0,5580 respectivamente. La hipótesis investigativa dice que valores inferiores a 1 no están

relacionados entre sí considerándose no significativos (NS) razón por la cual en todos los casos no hubo asociación entre las variables físico – químicas determinadas tanto en suelos como biomasa.

#### 4.5.2. Contenido de macronutrientes

**Tabla 20-4:** Análisis de correlación de potasio, sodio y fósforo para suelos y biomasa (MSB).

CÓDIGO	FÓSFORO		SODIO		POTASIO	
	Suelo	Biomasa	Suelo	Biomasa	Suelo	Biomasa
MSB1	0,001	0,024	803,499	250,038	29,242	20014,665
MSB2	0,003	0,080	1362,139	813,350	20,246	7132,811
MSB3	0,001	0,161	1647,451	340,745	4,625	24403,166
MSB4	0,001	0,161	546,275	621,254	4,067	13080,617
MSB5	0,005	0,162	726,799	1023,576	170,683	5822,907
MSB6	0,002	0,150	942,871	499,900	4,204	15042,714
MSB7	0,001	0,205	383,596	628,800	8,801	10982,152
MSB8	0,003	0,164	807,063	125,750	12,277	11817,751
MSB9	0,005	0,127	444,665	376,393	3,798	6542,885
MSB10	0,014	0,134	648,574	839,649	24,531	8048,003
MSB11	0,033	0,147	1082,721	486,086	29,971	3857,850
MSB12	0,005	0,125	1152,196	667,139	219,304	8310,522
MSB13	0,006	0,098	747,868	464,314	5,454	5397,641
MSB14	0,015	0,133	1044,454	372,693	32,758	15348,023
MSB15	0,014	0,147	1187,080	468,348	30,973	9030,750
<b>r</b>	6,69E-02		-1,10E-01		-2,76E-01	
<b>Sig.</b>	NS		NS		NS	

Realizado por: Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

En cuanto al contenido de macronutrientes, sodio, potasio y fósforo de suelos y biomasa el coeficiente de correlación “r” presentó valores de 0,0669; -0,1100 y -0,2760 respectivamente. Al ser resultados inferiores a 1 en todos los casos, no existió dependencia entre las concentraciones de los elementos determinados tanto biomasa como suelo.

#### 4.5.3. Contenido de micronutrientes

**Tabla 21-4:** Análisis de correlación de manganeso, hierro, cobre y zinc para muestras de suelos y biomasa (MSB).

CÓDIGO	MANGANESO		HIERRO		COBRE		ZINC	
	Suelo	Biomasa	Suelo	Biomasa	Suelo	Biomasa	Suelo	Biomasa

MSB1	137,139	29,451	11384,454	716,136	30251,311	4016,390	23644,478	27239,711
MSB2	139,254	88,831	8697,131	3696,700	27055,823	8680,651	20909,741	17077,150
MSB3	140,654	30,977	8976,638	496,237	26885,703	1162,003	19064,581	28200,128
MSB4	147,848	32,627	10229,736	569,268	24988,725	2115,218	19134,617	25711,739
MSB5	97,444	79,469	7177,060	2916,580	14155,264	14707,04	15186,776	28057,112
MSB6	105,302	13,567	7129,998	40,172	15827,858	3063,142	14889,494	23687,404
MSB7	71,916	26,842	3671,553	300,823	10878,568	2904,702	18400,116	13454,837
MSB8	261,809	17,961	10661,310	3223,882	21302,318	3235,591	23028,476	16275,440
MSB9	43,008	69,864	3444,583	7167,408	2416,484	4492,178	8510,320	29431,033
MSB10	122,313	66,688	6753,122	48,328	7135,766	3218,704	17812,862	25643,530
MSB11	64,196	12,271	4570,982	2612,939	829,823	3564,399	10551,951	21939,675
MSB12	79,436	302,47	6031,938	11535,47	500,251	4288,777	12358,634	24646,628
MSB13	59,011	27,434	3662,020	395,663	4523,198	2794,741	9241,349	15280,295
MSB14	74,165	30,247	5772,020	3538,079	6407,638	7276,670	23335,583	26083,676
MSB15	201,904	46,337	13370,562	2399,154	31513,612	5541,544	31678,504	13926,034
<b>r</b>		-1,91E-01		-2,01E-01		1,15E-02		-2,86E-01
<b>Sig.</b>		NS		NS		NS		NS

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

Con el contenido de micronutrientes, manganeso, cobre, hierro y zinc de suelos y biomasa el coeficiente de correlación “r” tomó valores respectivamente de -0,1910; -0,2010; 0,0115 y -0,2860. Por ser resultados menores a 1, se llegó a la conclusión que no hubo asociación entre las concentraciones de los elementos determinados en suelo y biomasa.

#### 4.5.4. Contenido de carbono, nitrógeno, cloruros y relación C/N

**Tabla 22-4:** Análisis de correlación de carbono, nitrógeno, relación C/N y cloruros para muestras de suelos y biomasa (MSB).

CÓDIGO	Corg		Nt		C_N		Cl	
	Suelo	Biomasa	Suelo	Biomasa	Suelo	Biomasa	Suelo	Biomasa
MSB1	0,890	38,204	0,215	1,750	4,250	21,875	349,631	510,398
MSB2	1,395	24,778	0,310	2,218	4,400	11,195	327,601	808,572
MSB3	0,272	42,256	0,103	2,019	2,675	20,881	451,261	949,529
MSB4	0,204	41,275	0,070	1,966	2,911	20,996	449,888	623,560
MSB5	0,670	26,460	0,384	1,549	1,723	17,098	720,118	1233,383
MSB6	0,880	40,019	0,419	1,644	2,065	24,322	262,522	580,997
MSB7	1,694	19,780	0,419	1,716	4,028	11,509	237,085	566,793
MSB8	2,288	18,461	0,430	1,675	5,238	11,035	406,780	977,462
MSB9	0,990	21,353	0,239	1,808	4,108	11,785	419,559	651,823

MSB10	0,485	20,251	0,210	1,264	2,265	16,026	350,609	396,994
MSB11	0,992	17,245	0,242	2,415	4,074	7,191	106,153	1006,028
MSB12	0,884	27,239	0,315	1,928	2,629	14,155	881,769	637,628
MSB13	0,393	22,497	0,350	2,069	3,237	10,828	166,291	977,895
MSB14	1,127	19,963	0,350	2,070	5,111	9,581	290,952	425,202
MSB15	1,411	20,713	0,383	1,091	3,605	19,007	697,678	623,907
<b>r</b>	-5,53E-01		-2,84E-01		-5,82E-01		7,38E-02	
<b>Sig</b>	NS		NS		NS		NS	

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

Finalmente, el estadístico de correlación para el caso del carbono, nitrógeno, relación C/N y cloruros reportó valores -0,5530; -0,2840; -0,5820 y 0,0738. Por ser resultados menores a 1, se llegó a la conclusión que no hubo asociación entre el porcentaje de carbono, nitrógeno y cloruros determinados en suelo y biomasa.

#### 4.6. Factores de bioacumulación

En cuanto a los factores de bioacumulación del mercurio, arsénico, selenio y mercurio fueron reportados como no determinados (ND) para las zonas muestreadas, esto debido a que las concentraciones de los contaminantes estuvieron por debajo de los LC y LD lo que hace que se descarte su presencia en base al método de análisis de metales pesados seguido en la investigación (Quino et al.; 2007, pp. 53 – 57).

##### 4.6.1. Plomo

**Tabla 23-4:** Factores de bioacumulación BCF, TF y BFT para el plomo en todas las zonas de muestreo (MZ).

CÓDIGO	ZONA	BCF	TF	BTF
MZ1	4 esquinas	ND	0,02	0,011
MZ2	Cecel	118,46	0,03	0,010
MZ3	Pitzil	ND	0,02	0,010
MZ4	San Antonio	ND	ND	0,012
MZ5	Vía Oriente	ND	ND	0,011
MZ6	Tunshi Grande	ND	0,04	0,011
MZ7	Guayllabamba	ND	0,03	0,011
MZ8	Shalapud	4,21	0,05	0,014
MZ9	Pistishí	ND	0,10	0,013
MZ10	San Gerónimo	18,60	0,05	0,002
MZ11	San José de Chocón	75,90	0,04	0,002
MZ12	El Llano	ND	0,04	0,019

MZ13	Santa Rosa de Cullo	109,20	0,01	0,019
MZ14	Santa Rosa de Cullo	ND	0,01	0,018
MZ15	Valparaíso	8,09	0,01	0,019

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

#### 4.6.1.1. Factor de Biocentración (BCF)

Torres (2018, p. 26) menciona que mayores valores de bioconcentración implican una mayor capacidad de bioacumulación. Un valor de BCF > 1 indica que una especie vegetal podría actuar como hiperacumulador de metales pesados en la parte aérea de la planta y aquellas especies excluidoras poseen BCF < 1, tanto menores, mayor es su capacidad de exclusión González et al. (2017, p. 5).

Para el plomo, en las zonas de Cecel, Shalapud, San Gerónimo, San José de Chocón, Santa Rosa de Cullo y Valparaíso se obtuvieron BCF's mayores a 1 manifestando un comportamiento hiperacumulativo del metal en la parte aérea de la biomasa, por lo cual existiría exposición crónica al metal entre la población.

#### 4.6.1.2. Factor de Traslocación (TF)

González et al. (2017, p. 5) habla sobre la eficiencia del transporte de metales pesados en tejidos vegetales refiriéndose al factor de traslocación. Al encontrarse en el suelo y ser absorbidos por las raíces en la planta, los contaminantes son capaces de moverse hacia tallos, hojas y demás estructuras aéreas. Mientras mayor sea la proporción del metal transportado en relación al absorbido la movilidad se considerará más eficiente, por ende, mayor cantidad podría alojarse en tejidos aéreos.

Los mecanismos de transporte son variados y dependen de la naturaleza del elemento, sin embargo, dependen también de características fisiológicas intrínsecas de la planta. Así, especies con factores de traslocación mayores a 1 movilizan metales pesados con mayor eficiencia en comparación que las que presentan valores inferiores a 1, que aun cuando transportan metales, lo hacen de una manera más lenta o menos eficiente. En las zonas muestreadas a excepción de San Antonio y Vía Oriente, se encontraron valores del TF menores a 1, lo que mostraría una tasa de transporte poco efectiva de metales pesados desde la raíz hacia órganos aéreos.

#### 4.6.1.3. Factor de Biotransferencia (BTF)

Según Castellanos (2015, p.8) el factor de biotransferencia es una medida que pondera la transferencia del metal pesado hacia los alimentos. Al comparar los resultados obtenidos, se evidenció que en cada punto la transferencia de plomo hacia los alimentos era distinta. La zona

de Valparaíso presentó un BTF de 0,019, seguido por El Llano, Santa Rosa de Cullo, San Gerónimo y El Chocón con valores de 0,019; 0,018; 0,002 y 0,002 respectivamente siendo los lugares con mayor tasa de transferencia de plomo hacia los alimentos.

Shalapud, Pistishí, San Antonio, Tunshi Grande, Guayllabamba, Vía Oriente, 4 esquinas, Pitzil y Cecel fueron los lugares con BTF más bajos por ende con menor tasa de transferencia de plomo hacia alimentos reportando valores de 0,014; 0,013; 0,012; 0,011; 0,011; 0,011; 0,010; 0,010 respectivamente, los cuales son mayores a los reportados por Albán y Ruiz (2021, p. 105) debido posiblemente a la presencia de mayor concentración de plomo en las zonas muestreadas en el presente estudio.

#### 4.7. Factor de riesgo para el consumidor

**Tabla 24-4:** Valores para el cálculo de los factores de riesgo para el consumidor.

Datos de consumo	Unidad	Valor
Frecuencia de exposición ( $E_{fr}$ )	Días	365
Duración de la exposición ( $E_d$ )	Años	74
Tasa de ingesta diaria ( $F_{IR}$ )	g/día	183
Dosis de referencia oral ( $R_{Fd}$ )	mg/kg día	Pb: 0,0035 Cd: 0,0005 Hg: 0,0001 As: 0,0003 Se: 0,005
Peso corporal promedio ( $BW_a$ )	Kg	74
Tiempo de exposición promedio ( $AT_n$ )	días	27010

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

Una vez establecidos los valores de las variables necesarias, se calcularon los factores de riesgo para el consumidor de los metales pesados cuantificados en las muestras de alimentos, según se detalla en la tabla 25-4.

**Tabla 25-4:** Factores de riesgo para el consumidor

	Factor de riesgo	THQ	EDI	HI
<b>Metal pesado</b>				
Mercurio (Hg)		-	-	
Cadmio (Cd)		-	-	
Plomo (Pb)		0,03	0,12	0,03
Arsénico (As)		-	-	
Selenio (Se)		-	-	

**Realizado por:** Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.



Los valores de THQ y EDI para el mercurio, arsénico, selenio y cadmio fueron no determinados debido a que se reportaron concentraciones de los metales por debajo de los límites de detección del método.

#### ***4.7.1. Coeficiente de Peligro Objetivo (THQ)***

El THQ según Uddin et al. (2019, p. 547) estima la posibilidad de desarrollar problemas de salud no cancerígenos relacionados con el consumo de alimentos en los cuales se haya determinado y cuantificado contaminantes, entre ellos, metales pesados. Valores de THQ superiores a 1,0 podrían indicar la existencia de problemas crónicos en la salud del consumidor.

En este estudio, se reportó un valor de THQ = 0,03 para el plomo, muy por debajo del límite máximo tolerable. Sin embargo, y a pesar de encontrarse en concentraciones cuantificables, el consumo promedio del metal proveniente de alimentos no significaría un riesgo para la salud de la población en las zonas muestreadas.

Uddin et al. (2019, p. 546) también se refiere al plomo como un metal fácilmente acumulable debido a su baja solubilidad por lo que puede persistir en suelos por largos periodos de tiempo. Hay que destacar también que a través del tiempo y debido a su predisposición para bioacumularse, dichas concentraciones podrían aumentar hasta niveles con implicancias negativas en la salud de la población consumidora.

Los valores de THQ para el mercurio, arsénico, selenio y cadmio fueron no determinados debido a que se reportaron concentraciones de los metales por debajo de los límites de cuantificación del método.

#### ***4.7.2. Ingesta Diaria Estimada (EDI)***

La EDI de metales pesados depende según Sayyad (2013, p.2) de dos factores principalmente, por una parte, la concentración del contaminante en alimentos y por otra la ingesta diaria del alimento. Sayyad reporta una EDI de 0,26 al evaluar la ingesta de plomo contenido en 70 variedades de arroz producido en una población al suroeste de Irán. Dicho valor es superior al encontrado en esta investigación, ya que la EDI obtenida fue de 0,12.

La Ingesta Diaria Estimada es considerada como un indicador de la transferencia de metales pesados de alimentos a seres humanos. Para estimar el riesgo hacia el consumidor se han establecido niveles de Ingesta Diaria Tolerable (TDI) para diversos contaminantes, en este caso, la OMS/FAO señala en base al análisis de varios estudios toxicológicos realizados entre los años de 1999 y 2013

que la TDI del plomo se encuentra en 3,0  $\mu\text{g}/\text{día}$  por kilogramo de peso corporal ( $\text{kg} - \text{Bw}$ ) mientras que en niños toma un valor de 9,0  $\mu\text{g}/\text{día}$   $\text{kg} - \text{Bw}$ ; siempre y cuando el contaminante

provenza de fuentes alimenticias. Por otra parte, la normativa ecuatoriana NTE INEN – CODEX ALIMENTARIUS 193:2013 (1995, p. 29) para el plomo, indica un consumo máximo tolerable de 25 µg/semana kg-Bw.

Analizando el resultado obtenido, 0,12 µg/día kg – Bw se encontró muy por debajo de la Ingesta Tolerable de plomo reportada en normativa tanto nacional como internacional lo que significaría que no existe riesgo asociado, en la salud de la población, al consumo del metal en alimentos.

#### ***4.7.3. Índice de Peligro (HI)***

El Índice de Peligro evalúa de manera acumulada el riesgo de apareamiento de efectos adversos no carcinogénicos por el consumo de alimentos contaminados con uno o varios metales pesados. Liu et al. (2018, p.1601) menciona que con valores menores o iguales a 1,0 para el HI, efectos no carcinogénicos en la salud son poco probables de aparecer. Valores mayores a 1,0 significan potenciales riesgos para la salud de la población consumidora. El HI se encontró en 0,3 para las diferentes zonas estudiadas dentro de la investigación lo que se traduce en baja probabilidad de manifestar problemas de salud asociados a la ingesta de alimentos.

## CONCLUSIONES

- Se estudió la concentración de metales pesados en matrices vegetales de dos tipos, forraje como alimentación primaria de ganado bovino y productos vegetales agrícolas, ambas cultivadas en zonas productivas de los cantones Guamote y Guano, afectadas por la caída de ceniza del volcán Tungurahua. El impacto en la cadena alimentaria se evaluó en base a factores de bioacumulación de metales pesados, que en la investigación fueron determinables solo en el caso del plomo, al igual que los índices de peligro para el consumidor asociados a la ingesta de alimentos contaminados. En base a los resultados obtenidos, no fue posible evidenciar biotransferencia de plomo desde el suelo hacia los productos alimentarios analizados mientras que los índices de peligro reportaron valores que no se asocian a impactos negativos en salud de la población consumidora.
- Se cuantificaron cinco metales pesados; As, Se, Cd, Hg y Pb en muestras de suelo, biomasa comprendida por raíces, hojas, tallos y alimentos de diferente procedencia mediante espectrometría de absorción atómica. A nivel de suelo, en el caso del Cd, Hg y Se se reportaron concentraciones inferiores al límite de cuantificación del método a excepción de la muestra de suelo recolectada en San Gerónimo cuyo contenido de Se fue medible, pero por debajo del límite máximo reportado por la EPA como 1 ppm. Con el As, las muestras de suelo tomadas en 4 Esquinas, Cecel, Pitzil, Vía Oriente, Guayllabamba, Shalapud, San Gerónimo y Santa Rosa de Cullo reportaron concentraciones del metal superiores a los límites establecidos por la EPA. Las concentraciones de Pb fueron inferiores al límite de cuantificación en todos los casos sin embargo en 4 Esquinas, Cecel, Shalapud, Pistishí, San Gerónimo, San José de Chocón, Santa Rosa de Cullo y Valparaíso se encontraron trazas del metal. En las muestras de parte aérea, raíces y alimentos los análisis reportaron valores inferiores al límite de cuantificación del equipo a excepción del Hg cuyas concentraciones en raíces superaron el límite máximo permisible indicado por la EPA pero al no ser un eslabón de la cadena alimentaria no representarían un riesgo para la salud de la población.
- La bioconcentración de metales pesados se determinó mediante los factores de bioacumulación, traslocación y biotransferencia. Para el Se, Hg, Cd y As no fue posible su cálculo, debido a que el método no permitió obtener resultados numéricos, si no rangos inferiores al límite de cuantificación del equipo para cada metal. Sin embargo, algunas muestras de biomasa y suelo reportaron concentraciones traza de plomo, con las cuales se determinaron factores en algunas de las zonas muestreadas. En Cecel, Shalapud, San Gerónimo, San José de Chocón, Santa Rosa de Cullo y Valparaíso la biomasa mostró un comportamiento hiperacumulativo del metal. Todos los puntos excepto San Antonio y Vía Oriente, reportaron valores del factor de traslocación menores a la unidad, lo que se asocia a una tasa de transporte poco efectiva de plomo desde la raíz hacia órganos aéreos. Por último,

Shalapud, Pistishí, San Antonio, Tunshi Grande, Guayllabamba, Vía Oriente, 4 esquinas, Pitzil y Cecel fueron presentaron factores de biotransferencia inferiores a la unidad indicando movilidad limitada de plomo hacia las matrices alimentarias.

- Finalmente, los riesgos en la salud del consumidor se evaluaron mediante el coeficiente de peligro objetivo, el índice de peligro y la ingesta diaria estimada. Los tres parámetros se calcularon para el plomo dando como resultado valores inferiores a la unidad, lo que se interpretó como ausencia de riesgos asociados, en la salud de la población, al posible consumo del metal posterior a su ingreso a la cadena alimentaria.

## RECOMENDACIONES

- Realizar la determinación de cadmio, plomo, selenio, arsénico y mercurio mediante métodos más sensibles que el utilizado en la presente investigación. Como se pudo observar, varias de las concentraciones fueron inferiores a los límites de cuantificación del método, por lo que algunos de los resultados obtenidos fueron descartados y reportados como inferiores a la mínima concentración cuantificable, sin embargo, dichos valores no fueron inferiores al límite de detección del equipo, por lo que no se descartaría su presencia en la biomasa y suelos estudiados.
- Diseñar planes de remediación para las zonas afectadas por la presencia de metales pesados planteando un trabajo conjunto de la academia y la población residente en las comunidades perjudicadas a fin de reducir el impacto del ingreso de contaminantes a la cadena trófica.
- Direccionar futuras investigaciones al estudio de las zonas afectadas por la ceniza del volcán Tungurahua donde se encontraron metales pesados, con un plan de muestreo más extenso en los puntos específicos, tanto de suelos como matrices alimentarias de origen animal y vegetal con el objetivo de analizar el comportamiento de los metales y su impacto a la cadena alimentaria de manera más detallada.

## BIBLIOGRAFÍA

**AGUIRRE, Patricia.** Seguridad alimentaria. *Una visión desde la antropología alimentaria. En Desarrollo integral en la infancia: El futuro comprometido.* [En línea]. 2004. [Consulta: 15 marzo 2022]. Disponible en: <http://www.assal.gov.ar/bitacoradelaalimentacion/bibliografia/Seguridad%20Alimentaria%20Patricia%20Aguirre.pdf>

**ALBÁN, Teresa; RUIZ, Sayuri.** Determinación de metales pesados en el forraje consumido por el ganado vacuno de la parroquia Bilbao y evaluación de su incidencia en la cadena alimentaria. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Bioquímica y Farmacia. Riobamba, Ecuador. 2021. p. 88. [Consulta: 10 de agosto 2022]. Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/bitstream/123456789/15419/1/56T01026.pdf>

**ALPÍZAR, Otoniel; DÍAZ, Oscar.** Determinación del contenido de zinc en arroz y otros agroproductos por fluorescencia de rayos X. *Nucleus*, no 46 (2009), p. 34-39.

**AMBIENTUM.** *Relación Carbono - Nitrógeno.* [blog]. Enciclopedia Ambiental Ambientum, 2022. [Consulta: 31 agosto 2022]. Disponible en: [https://www.ambientum.com/enciclopedia\\_medioambiental/suelos/relacion\\_carbono\\_nitrogeno.asp](https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/suelos/relacion_carbono_nitrogeno.asp)

**ANDRADE, Claudia; AYAVIRI, Víctor.** Cuestiones Ambientales y Seguridad Alimentaria en el Cantón Guano, Ecuador. *Información tecnológica*, vol. 28, no 5 (2017), (Ecuador) p. 233-242.

**ANDRADE, Katia, et al.** Determinación de metales pesados en suelos agrícolas y suelos para cultivo de *Solanum tuberosum* de la Bahía interior de Puno. *Investigación & Desarrollo*, vol. 20, no 1 (2020), pp. 147-153.

**AYALA, José; ROMERO, Hugo.** Presencia de metales pesados (arsénico y mercurio) en leche de vaca al sur de Ecuador. *La Granja*, vol. 17, no 1 (2013), pp. 36-43.

**BARBARO et al.** “Importancia del pH y la Conductividad Eléctrica (CE) en los sustratos para plantas”. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* [en línea], pp. 1-10. [Consulta: 27 septiembre 2022]. Disponible en: [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_-\\_importancia\\_del\\_ph\\_y\\_la\\_conductividad\\_elctrica.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_importancia_del_ph_y_la_conductividad_elctrica.pdf)

**BEAS, Blanca.** Nuevas funciones de la nutrición de cloruro en la asimilación y eficiencia en el uso de nitrógeno en plantas de tabaco. [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría). Universidad de Sevilla. Sevilla, España. 2020. p. 2 – 4. [Consulta: 11 de agosto 2022]. Disponible en: <https://digital.csic.es/handle/10261/230248>

**BRAVO, Marta, et al.** Determinación de metales tóxicos en algunos alimentos vegetales de la zona del valle de Ilo. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, vol. 7, no 1 (2004), p. 33.

**CALERO, Carla.** Seguridad Alimentaria en Ecuador Desde un Enfoque de Acceso a Alimentos. [En línea]. (Trabajo de titulación). (Postgrado). Universidad Politécnica Salesiana, Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales. Quito, Ecuador. 2011. pp. 13 – 21. [Consulta: 25 mayo 2022]. Disponible en: <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/52065.pdf>

**CAMPS, M.** “La problemática del selenio en suelos contaminados del Estado de California (E.E.U.U)”. *Revistas de Edafología* [en línea] 2001 (España) 8 (2), pp. 31-44. [Consulta: 27 septiembre 2022]. Disponible en: <http://www.edafologia.net/revista/tomo8b/a4v8bt.htm#selenio>

**CANO, M., et al.** Evaluación de la contaminación por metales pesados en suelos de cultivo. *Ecología*, vol. 11, (1997), pp. 83-89.

**CASTELLANOS, Luz.** Determinación de metales pesados y evaluación de la biotransferencia de especies inorgánicas de arsénico en leche bovina cruda. [En línea] (Trabajo de titulación). (Postgrado). Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Químicas. Nuevo León, México. 2015. pp. 8 – 20. [Consulta: 20 abril 2022]. Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/11279/1/1080215187.pdf>

**CASTRO, Numa, et al.** Metales pesados en leche de vacas alimentadas con alfalfa producida en suelos irrigados con aguas residuales en Puebla y Tlaxcala, México. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, vol. 9, no 3 (2018), pp. 466-485.

**CHAMANNEJADIAN, Ali, et al.** Evaluation of estimated daily intake (EDI) of cadmium and lead for rice (*Oryza sativa* L.) in calcareous soils. *Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering*, vol. 10, no 1 (2013), p. 2.

**CODEX STAN.** *Norma General para los Contaminantes y Toxinas Presentes en los Alimentos y Piensos.* [En línea]. 1995. [Consulta: 15 marzo 2022]. Disponible en: [https://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/livestockgov/documents/CXS\\_193s.pdf](https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/livestockgov/documents/CXS_193s.pdf)

**CREMONA, María; ENRIQUEZ, Andrea.** *El agua es prioridad: lecciones del proyecto Euroclima.* [En línea]. Presencia, 2020. pp. 6 – 9. [Consulta: 15 abril 2022]. Disponible en: <https://www.gadguamote.gob.ec/gadmc-g/plan-de-desarrollo1/pdot-guamote-2019-2023/3843-actualizado-pdot-guamote-2019-2023/file.html>

**CUELLO, Susana.** Biocumulación, toxicidad e interacción de metilmercurio y especies de selenio. [En línea] (Trabajo de titulación). (Postgrado). Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Químicas, Departamento de Química Analítica. Madrid, España. 2016. pp. 15 – 244. [Consulta: 20 mayo 2022]. Disponible en: <https://eprints.ucm.es/id/eprint/42588/1/T38771.pdf>

**EPA.** *Leyes y Normas – Reglamentos ambientales.* [blog]. Agencia De Protección Ambiental De Estados Unidos, 2022. [Consulta: 31 abril 2022]. Disponible en: <https://espanol.epa.gov/espanol/leyes-y-normas-reglamentos-ambientales>

**EPA.** *Selenium and Compounds.* [blog]. United States Environmental Protection Agency, 2017. [Consulta: 10 junio 2022]. Disponible en: [https://cfpub.epa.gov/ncea/iris2/chemicalLanding.cfm?substance\\_nmbr=472](https://cfpub.epa.gov/ncea/iris2/chemicalLanding.cfm?substance_nmbr=472)

**ESPOCH.** *ESPOCH PRESENTA EL RESULTADO DE SU INVESTIGACIÓN EN METALES PESADOS.* [blog]. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2021. [Consulta: 11 mayo 2022]. Disponible en: <https://www.esepoch.edu.ec/index.php/component/k2/item/5368-esepoch-presenta-el-resultado-de-su-investigaci%C3%B3n-en-metales-pesados.html>

**FERNÁNDEZ, María.** “Fósforo: amigo o enemigo”. ICIDCA [en línea], 2007 (Cuba) 41 (2), pp. 51-57. [Consulta: 27 septiembre 2022]. ISSN 0138-6204. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223114970009.pdf>

**FERTILAB.** *El sodio y la fertilidad del suelo.* [blog]. [Consulta: 27 septiembre 2022]. Disponible en: <https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/EL%20SODIO%20Y%20LA%20FERTILIDAD%20DEL%20SUELO.pdf>



**FLORENCIA et al.** *El nitrógeno del suelo*. [blog]. [Consulta: 27 septiembre 2022]. Disponible en:

<https://s9a0d11af78cd478d.jimcontent.com/download/version/1563476239/module/7953478176/name/EI%20nitrogeno%20del%20suelo%202019.pdf>

**FUNDACIÓN WIESE.** *¿Qué es la sostenibilidad ambiental y cómo impacta en nuestras vidas?*. [blog]. Fundación WIESE, 2018. [Consulta: 1 junio 2022]. Disponible en: <https://www.fundacionwiese.org/blog/es/que-es-la-sostenibilidad-ambiental-y-como-impacta-en-nuestras-vidas/>

**GAD MUNICIPAL DE GUAMOTE.** *Plan de desarrollo y Ordenamiento Territorial 2019 - 2023*. [En línea]. Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Guamote, 2019. [Consulta: 13 abril 2022]. Disponible en: <https://www.gadguamote.gob.ec/gadmc-g/plan-desarrollo1/pdot-guamote-2019-2023/3843-actualizado-pdot-guamote-2019-2023/file.html>

**GAD MUNICIPAL DEL CANTÓN GUANO.** *Actualización del Plan de desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Guano*. [En línea]. Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Guano, 2019. [Consulta: 13 abril 2022]. Disponible en: <http://www.municipiodeguano.gob.ec/index.php/enlaces?task=download.send&id=474&catid=8&m=0>

**GARCÍA, Elizabeth, et al.** Contenido y traslocación de plomo en avena (*Avena sativa*, L.) y haba (*Vicia faba*, L.) de un suelo contaminado. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, vol. 17, no 1 (2011), (México) pp. 19-29.

**GOANA, Xavier.** *El mercurio como contaminante global*. [blog]. [Consulta: 27 septiembre 2022]. Disponible en: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/3174/xgm1de1.pdf>

**GÓMEZ et al.** “El manganeso como factor positivo en la producción de papa (*Solanum tuberosum* L.) y arveja (*Pisum sativum* L.) en suelos del altiplano Cundiboyacense”. *Agronomía colombiana* [en línea], 2006 (Colombia) 24 (2), pp. 340-347. [Consulta: 27 septiembre 2022]. ISSN 0120-9965. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/1803/180316239018.pdf>

**GONZÁLEZ, José.** Metales pesados en carne y leche y certificación para la Unión Europea (UE). *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, vol. 22, no 3 (2009), (España) pp. 305-310.

**GONZÁLEZ, M.** Definiciones y problemática en la investigación científica en aspectos de fitoremediación de suelos. *Agro productividad*, vol. 10, no 4 (2017). p. 5

**GONZÁLEZ, M., et al.** Definiciones y problemática en la investigación científica en aspectos de fitoremediación de suelos. *Agro productividad*, vol. 10, no 4 (2017), p. 5

**GRUPO SACSA.** *Importancia de los nitratos y fosfatos.* [blog]. [Consulta: 27 septiembre 2022]. Disponible en: <https://www.gruposacsa.com.mx/importancia-de-los-nitratos-y-fosfatos-en-las-plantas/#:~:text=Nitratos%20en%20el%20suelo,por%20la%20Universidad%20de%20Missouri>.

**HERNÁNDEZ, T., et al.** Evaluación de la concentración de lignina como indicador de la capacidad de aporte de nitrógeno de residuos orgánicos. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, vol. 13, no 1 (2007), p. 8.

**HERRERA, Teodoro.** “La contaminación con cadmio en suelos agrícolas”. *Revistas de Edafología [en línea]* 2000 (Venezuela) 8 (1 y 2), pp. 42-47. [Consulta: 27 septiembre 2022]. Disponible en: [http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev\\_venes/article/view/1112](http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_venes/article/view/1112)

**IBARRA et al.** “Distribución espacial del pH de los suelos agrícolas de Zapopan, Jalisco, México”. *Agricultura técnica en México [en línea]*, 2009 (México) 35 (3), pp. 267-276. [Consulta: 27 septiembre 2022]. ISSN 0568-2517. Disponible en: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0568-25172009000300003#:~:text=En%20general%2C%20el%20pH%20%20C3%B3ptimo,et%20al.%20%202005](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172009000300003#:~:text=En%20general%2C%20el%20pH%20%20C3%B3ptimo,et%20al.%20%202005)).

**IGEPN.** *TUNGURAHUA.* [blog]. Quito: Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, 2015. [Consulta: 1 mayo 2022]. Disponible en: <https://www.igepn.edu.ec/tungurahua>

**INEC.** *Encuesta Nacional de Salud y Nutrición.* [En línea]. Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2018. [Consulta: 22 abril 2022]. Disponible en: [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_Sociales/ENSANUT/ENSANUT\\_2018/Principales%20resultados%20ENSANUT\\_2018.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Sociales/ENSANUT/ENSANUT_2018/Principales%20resultados%20ENSANUT_2018.pdf)

**INEN.** *NORMA GENERAL PARA LOS CONTAMINANTES Y TOXINAS PRESENTES EN LOS ALIMENTOS Y PIENSOS.* [En línea]. 2013. [Consulta: 15 marzo 2022]. Disponible en: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/CODEX-193-CAR.pdf>

**INTAGRI.** *La importancia del Zinc en las plantas y su Dinámica en el Suelo.* [blog]. [Consulta: 27 septiembre 2022]. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/la-importancia-del-zinc-en-las-plantas-y-su-dinamica-en-el-suelo>

**JUÁREZ et al.** *Hierro en el sistema suelo-planta.* [blog]. [Consulta: 27 septiembre 2022]. Disponible en: <https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/HIERRO.pdf>

**JULCA et al.** “La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura”. *IDESIA* [en línea], (Chile) vol. 24, no 1 (2006), pp. 49-61. [Consulta: 27 septiembre 2022]. Disponible en: [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-34292006000100009](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292006000100009)

**KIRKBY, E.; RÖMHELD, V.** Micronutrients in Plant Physiology: Functions, Uptake and Mobility. *Int. Fertil. Soc.*, vol. 543 (2004), p. 1.

**KORITSCHONER, Julius.** Mineralización y estabilización de residuos de raíces de soja, maíz y sorgo en distintas fracciones del carbono orgánico total del suelo. [En línea] (Tesis). (Pregrado). Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Escuela para Graduados. Córdoba, Argentina. 2019, pp. 8. [Consulta: 25 de agosto 2022]. Disponible en: <https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/17003/Koritschoner%2c%20Julius%20J.%20-Mineralizaci%2c%20y%20estabilizaci%2c%20de%20residuos%20de%20ra%2c%20adces%20de%20soja%2c%20ma%2c%20y%20sorgo%20en%20distintas%20fracciones%20del%20carbono%20org%2c%20nico%20total%20del%20suelo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**LONDOÑO, LUIS, et al.** Los Riesgos de los Metales Pesados en la Salud Humana y Animal. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, vol. 14, no 2 (2016), pp. 145-153.

**MAHECHA, Juan et al.** Contenido de metales pesados en suelos agrícolas de la región del Ariari, Departamento del Meta. *Orinoquia*, vol. 19, no 1 (2015), pp. 118-122.

**MARTÍNEZ, Eduardo et al.** “Carbono orgánico y propiedades del suelo”. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal.* [en línea] 2008 (Chile) 8 (1), pp. 68-96. [Consulta: 27 septiembre 2022]. Disponible en: [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-27912008000100006](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-27912008000100006)

**MARTÍNEZ, Yadira; RIVERO, Carmen.** Evaluación de diferentes métodos para determinar las fracciones de metales pesados presentes en el suelo. *Revista Ingeniería UC*, vol. 12, no 3 (2005), (Venezuela) pp. 14-20.

**MENDIETA, CARLA; TAISIGÜE, KATERINE.** Acumulación y translocación de metales, metaloides y no metales en plantas nativas de la zona minera de Chontales: Implicaciones para el potencial de fito-remediación Laboratorio de Biotecnología. *Laboratorio de Biotecnología, UNAM-Managua*, (2014), p. 5.

**MENDOZA, Betty, et al.** Concentración de metales pesados en suelos agrícolas bajo diferentes sistemas de labranza. *TecnoLógicas*, vol. 24, no 51 (2021), pp. 4-15.

**MICHEL, ADAN.** Determinación de metales pesados y plaguicidas organoclorados en músculo de pez cochito (*Balistes polylepis*) del complejo lagunar San Ignacio-Navachiste Macapule y su riesgo potencial para la salud humana. [En línea] (Trabajo de titulación). (Postgrado). Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Sinaloa. Sinaloa, México. 2019. pp. 29 – 31. [Consulta: 15 mayo 2022]. Disponible en: <http://www.cienciasinaloa.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/316/1/Adan%20Alfonso%20Michel%20Rubio.pdf>

**MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA.** *Efectos en la salud por las erupciones del Tungurahua.* [blog]. Oficina de Naciones Unidas para la Coordinación de Asuntos Humanitarios, 2000. [Consulta: 13 abril 2022]. Disponible en: <https://reliefweb.int/report/ecuador/efectos-en-la-salud-por-les-erupciones-del-tungurahua#:~:text=El%20efecto%20de%20la%20ceniza,estar%20relacionados%20con%20cuadros%20irritativos>.

**MITRA, Saikat, et al.** Impact of heavy metals on the environment and human health: Novel therapeutic insights to counter the toxicity. *Journal of King Saud University-Science*, vol. 34, (2022), pp. 1 – 21

**MORENO et al.** *Sulfatos.* [blog]. [Consulta: 27 septiembre 2022]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/13682/sulfatos%20revisado%20definitivo.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

**MUÑIZ, Olegario.** Contenido de metales pesados como criterio de calidad de suelos. *Revista Ingeniería Agrícola*, vol. 12, no 3 (2022), (Cuba) pp. 58 – 60

**NASIMBA, Jaime.** Estimación de la altura de columnas explosivas en el volcán Tungurahua basado en imágenes visuales y térmicas. [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Bioquímica y Farmacia. Riobamba, Ecuador. 2017. p. 8. [Consulta: 13 abril 2022]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/7605/1/20T00924.PDF>.

**NUÑEZ, Carlos; VILLANUEVA, Brayán.** Determinación y evaluación de la calidad físico-química del agua y su riesgo a la salud en la Microcuenca de Ucriamayo mediante la metodología de ICA-PE e índices de peligro (HI) en la provincia de Caylloma 2018-2019. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Facultad de Ingeniería de Procesos, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental. Arequipa, Perú. 2020. pp. 35 – 37. [Consulta: 15 mayo 2022]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12773/11420/IAvitobd%26nudeca.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**OMS.** *Evaluations of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA)*. [blog]. Organización Mundial de la Salud, 2022. [Consulta: 31 agosto 2022]. Disponible en: <https://apps.who.int/food-additives-contaminants-jecfa-database/Home/Chemical/3511>

**OPS.** *Informe De Misión 01 Volcán Tungurahua*. [En línea]. Organización Panamericana de la Salud y Coordinación del Socorro en Casos De Desastre. 2006. [Consulta: 24 marzo 2022]. Disponible en: [https://www.paho.org/disasters/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_view&gid=122&Itemid=0#:~:text=La%20ceniza%20ha%20ca%C3%ADdo%20en,ciudades%20de%20Ambato%20y%20Riobamba](https://www.paho.org/disasters/index.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=122&Itemid=0#:~:text=La%20ceniza%20ha%20ca%C3%ADdo%20en,ciudades%20de%20Ambato%20y%20Riobamba).

**ORTIZ, Mónica.** Análisis de los efectos de la erupción del volcán Tungurahua a través del procesamiento e interpretación de imágenes satelitales, para tomar medidas de protección civil. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Informática y Electrónica, Escuela de Ingeniería Electrónica en Telecomunicaciones y Redes. Riobamba, Ecuador. 2019. pp. 23-25. [Consulta: 13 abril 2022]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/13434/1/98T00250.pdf>

**PABÓN, S. E., et al.** Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Entre Ciencia e Ingeniería*, vol. 14, no 27 (2020), (Colombia) pp. 9-18.

**PANCORBO, Suzan; RUIZ, Graciela.** Revisión sistemática: fitoestabilización de cadmio para la recuperación de suelo. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado). Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental. Lima, Perú. 2020. pp. 23-25. [Consulta: 20 abril 2022]. Disponible en: [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/63390/Pancorbo\\_ASA-Ruiz\\_SGM-SD.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/63390/Pancorbo_ASA-Ruiz_SGM-SD.pdf?sequence=4&isAllowed=y)

**PARSI, Jorge, et al.** *Valoración Nutritiva de los Alimentos y Formulación de Dietas*. [En línea]. Cursos de Producción Animal, FAV UNRC, 2001. pp. 4. [Consulta: 15 agosto 2022]. Disponible en: [https://www.produccion-animal.com.ar/informacion\\_tecnica/manejo\\_del\\_alimento/16-valoracion\\_nutritiva\\_de\\_los\\_alimentos.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/16-valoracion_nutritiva_de_los_alimentos.pdf)

**PARTIDA, Leopoldo, et al.** Extractos vegetales y su efecto en la conductividad eléctrica de dos suelos salinos y de soluciones. *Terra Latinoamericana*, vol. 24, no 1 (2006), p. 83-89.

**PÉREZ, Ismael.** Ecotoxicología del arsénico en suelos de la comunidad de Madrid [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad de Madrid, España. 2015. pp. 1-23. [Consulta: 27 septiembre 2022]. Disponible en: [https://eprints.ucm.es/id/eprint/48830/1/ISMAEL%20PEREZ%20MINGUEZ%20\(1\).pdf](https://eprints.ucm.es/id/eprint/48830/1/ISMAEL%20PEREZ%20MINGUEZ%20(1).pdf)

**PRIETO, Judith, et al.** Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and subtropical Agroecosystems*, vol. 10, no 1 (2009), (México) pp. 29-44.

**QUINO, Israel, et al.** Determinación del límite de detección instrumental (LDI) y límite de cuantificación instrumental (LCI) en elementos traza de agua subterránea. *Revista Boliviana de química*, vol. 24, no 1 (2007), p. 53-57.

**QUINTANA, Luis; SALVATIERRA, Hugo.** Determinación de Metales a Través del Método de Absorción Atómica en Plantas de la Especie *Datura Arbórea*, en la Provincia de Tungurahua (Las Viñas), En El Período De Enero A Junio Del 2015. 2016. [En línea] (Tesis de Licenciatura). (Pregrado). Universidad Nacional de Chimborazo, Facultad de Ciencias de la Salud, Carrera de Laboratorio Clínico e Histopatológico, Riobamba, Ecuador. 2016. pp 42. [Consulta: 15 de agosto

2022]. Disponible en: <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/1339/1/UNACH-EC-LAB.CLIN-2016-0003.pdf>

**RANCH ENGINEERING.** Nota Técnica: Composición de los forrajes [En línea]. Ranch Engineering, 2020. [Consulta: 01 marzo 2022]. Disponible en: <http://ranchengineering.com/wp-content/uploads/2020/02/COMPOSICION-DE-LOS-FORRAJES.pdf>

**REYES, Yulieth, et al.** Contaminación por metales pesados: implicaciones en Salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Ingeniería Investigación y Desarrollo: I2+ D*, vol. 16, no 2 (2016), (Colombia), pp. 66-77.

**RODRÍGUEZ, Mariela; Flores, Víctor.** *Elementos esenciales y beneficiosos.* [En línea]. Nociones Básicas del Ferti-riego, 2004. [Consulta: 22 julio 2022]. Disponible en: <http://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/3133/F13.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**RODRÍGUEZ, Suly.** Bioacumulación de metales pesados en *schoenoplectus californicus* (*Cyperaceae*) de las áreas bentónicas en dos estaciones climáticas: el caso de estudio del Lago San Pablo. Imbabura-Ecuador. [En línea] (Trabajo de titulación). (Postgrado). Universidad de Sevilla, Departamento/Centro responsable de: Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola/Escuela Internacional de Doctorado. Sevilla, España. 2018. pp. 22- 24. [Consulta: 20 mayo 2022]. Disponible en: [https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/83205/Tesis\\_suly%20rodr%C3%ADguez\\_FINAL\\_2.pdf?sequence=1](https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/83205/Tesis_suly%20rodr%C3%ADguez_FINAL_2.pdf?sequence=1)

**ROMERO, Karla.** Contaminación por metales pesados. *Revista científica ciencia médica*, vol. 12, no 1 (2009), pp. 45-46.

**RUBIO, Ana.** La densidad aparente en suelos forestales del parque natural los Alcornocales. [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad de Sevilla, España. 2010. pp. 15-18. [Consulta: 27 septiembre 2022]. Disponible en: <https://digital.csic.es/bitstream/10261/57951/1/La%20densidad%20aparente%20en%20suelos%20forestales%20.pdf>

**RUEDA, Germán, et al.** Metodologías para establecer valores de referencia de metales pesados en suelos agrícolas: Perspectivas para Colombia. *Acta agronómica*, vol. 60, no 3 (2011), (Colombia) pp. 203-217.

**RUIZ, Magaly, et al.** *Comparación De Métodos Para Analizar Materia Orgánica En Materiales Orgánicos*. [En línea]. XXII Congreso Venezolano De La Ciencia Del Suelo 2018, 2018 [Consulta: 13 julio 2022]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/327402988\\_COMPARACION\\_DE\\_METODOS\\_PARA\\_ANALIZAR\\_MATERIA\\_ORGANICA\\_EN\\_MATERIALES\\_ORGANICOS](https://www.researchgate.net/publication/327402988_COMPARACION_DE_METODOS_PARA_ANALIZAR_MATERIA_ORGANICA_EN_MATERIALES_ORGANICOS)

**SELA, Guy.** *El cobre en las plantas*. [blog]. [Consulta: 27 septiembre 2022]. Disponible en: <https://cropaia.com/es/blog/cobre-en-las-plantas/>

**SENPLADES.** *Ecuador hoy y en el 2025: Apuntes sobre la evolución demográfica*. [En línea]. Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo, 2008. [Consulta: 22 abril 2022]. Disponible en: [https://sni.gob.ec/documents/10180/3344570/6+Apuntes+sobre+la+evoluci%C3%B3n+demogr%C3%A1fica\\_senplades.pdf/2be99f2f-7480-4c42-a862-ae14bbaa768f](https://sni.gob.ec/documents/10180/3344570/6+Apuntes+sobre+la+evoluci%C3%B3n+demogr%C3%A1fica_senplades.pdf/2be99f2f-7480-4c42-a862-ae14bbaa768f)

**SIERRA, Alejandra; SIMONNE, Eric; TREADWELL, Danielle.** Principios y prácticas para el manejo de nutrientes en la producción de hortalizas. *EDIS*, vol. 2007, no 17 (2007), p. 4

**SINALUISA, Fredy.** Valoración de la Relación C/N de Dos Cultivos de Cobertura Vicia (*Vicia Stenophylla*) y Centeno (*Secale Cereale*) en Tres Localidades del Cantón Riobamba Provincia de Chimborazo. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Recursos Naturales, Carrera Agronomía. Riobamba, Ecuador. 2021. p. 20. [Consulta: 11 de agosto 2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/16397/1/13T00962.pdf>

**SOTO, Margarita, et al.** Riesgos para la salud por metales pesados en productos agrícolas cultivados en áreas abandonadas por la minería aurífera en la Amazonía peruana. *Scientia Agropecuaria*, vol. 11, no 1 (2020), pp. 49-59.

**TELLO, Lily; e al.** “Análisis de cuantificación de plomo en suelos de parques recreacionales de la ciudad de Lima-Perú”. *Ecología Aplicada*, vol. 17, no 1 (2018), p. 1-12.

**TORRES, ZANABRIA.** *Determinación de cloruros en el suelo*. [blog]. [Consulta: 27 septiembre 2022]. Disponible en: <https://1library.co/document/ydenvoeq-cloruros-en-el-suelo.html>



**UNIÓN EUROPEA.** Reglamento (CE) No 1881/2006 de la comisión de 19 de diciembre de 2006 por el que se fija el contenido máximo de determinados contaminantes en los productos alimenticios. *Diario Oficial de la Unión Europea L*, vol. 364, no 5 (2006), pp. 1 – 4.

**Universidad de Riego.** *La textura en los suelos agrícolas.* [blog]. [Consulta: 27 septiembre 2022]. Disponible en: <https://www.universidadderiego.com/la-textura-en-los-suelos-agricolas/>

**VALDÉS, Cristóbal, et al.** Variabilidad en carbohidratos solubles del tallo y su contribución al rendimiento de grano en trigo. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, vol. 10, no 3 (2019), pp. 615-627.

**VARGAS, SHIRLY; MARRUGO, JOSÉ.** Evaluación del Riesgo a la Salud Humana Asociado al Consumo de Pescado Contaminado con Mercurio (Hg) en Habitantes de la Región de la Mojana-Colombia. [En línea]. Universidad de Córdoba, 2018. [Consulta: 15 marzo 2022]. Disponible en: <http://www.conama.org/conama/download/files/conama2018/CT%202018/222224348.pdf>

**VEGA et al.** *Determinación de la Densidad Real.* [blog]. [Consulta: 27 septiembre 2022]. Disponible en: [https://issuu.com/edafologia27/docs/densidad\\_real\\_de\\_suelo](https://issuu.com/edafologia27/docs/densidad_real_de_suelo)



**VISTOSO; MARTÍNEZ.** “Potasio disponible y fertilización en suelos de la Región de los Ríos”. INIA [en línea] 2020, pp. 1-4. [Consulta: 27 septiembre 2022]. Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/4037/NR42366.pdf?sequence=1&isAllowed=y>



# ANEXOS

## ANEXO A: ENCUESTAS

**Escuela Superior Politécnica de Chimborazo**  
**Facultad de Ciencias**  
**GRUPO ASOCIADO DE INVESTIGACIÓN EN BIOTECNOLOGÍA**  
**AMBIENTE Y QUÍMICA**  
**GAIBAQ**



**NOMBRE DEL TRABAJO:** \_\_\_\_\_

**Indicaciones:** Por favor responda las siguientes preguntas teniendo en cuenta su experiencia personal. Marque con una X su respuesta.

**SECTOR AGRÍCOLA**

**Nombre:** \_\_\_\_\_ **Comunidad:** \_\_\_\_\_

**Coordenadas:** X \_\_\_\_\_ Y \_\_\_\_\_

**Factor Socioeconómico**

**1. Número de integrantes de la familia:** 3  5  7 o más

**2. ¿Qué produce?**

<b>ARVEJA</b> <input type="checkbox"/> ciclo de cultivo: _____ Variedad: _____	<b>PAPAS</b> <input type="checkbox"/> ciclo de cultivo: _____ Variedad: _____
<b>CHOCLO</b> <input type="checkbox"/> ciclo de cultivo: _____ Variedad: _____	<b>MAÍZ DURO</b> <input type="checkbox"/> ciclo de cultivo: _____ Variedad: _____
<b>MASHUA</b> <input type="checkbox"/> ciclo de cultivo: _____ Variedad: _____	<b>HABAS</b> <input type="checkbox"/> ciclo de cultivo: _____ Variedad: _____
<b>MELLOCO</b> <input type="checkbox"/> ciclo de cultivo: _____ Variedad: _____	<b>CEBOLLA BLANCA</b> <input type="checkbox"/> ciclo de cultivo: _____ Variedad: _____
<b>ALFALFA</b> <input type="checkbox"/> ciclo de cultivo: _____ Variedad: _____	<b>CEBADA</b> <input type="checkbox"/> ciclo de cultivo: _____ Variedad: _____
<b>CILANTRO</b> <input type="checkbox"/> ciclo de cultivo: _____ Variedad: _____	<b>CEBOLLA BLANCA</b> <input type="checkbox"/> ciclo de cultivo: _____ Variedad: _____
<b>OTRO</b> <input type="checkbox"/> ciclo de cultivo: _____ Cuál? _____ Variedad: _____	<b>ZANAHORIA</b> <input type="checkbox"/> ciclo de cultivo: _____ Variedad: _____

**3. Número de hectáreas o solares utilizadas para el cultivo**

\_\_\_\_\_ hectáreas      \_\_\_\_\_ solares

**4. El tipo de cultivo es:**

monocultivo (un solo cultivo en un terreno)  asociado (varios cultivos en un mismo terreno)

cambia de cultivo después de cada cosecha

**5. Aproximadamente, ¿Cuántos quintales produce en una cosecha?** \_\_\_\_\_

EQUIPO GAIBAQ

LEVANTAMIENTO DE INFORMACION A CARGO DE: \_\_\_\_\_



Escuela Superior Politécnica de Chimborazo  
Facultad de Ciencias  
GRUPO ASOCIADO DE INVESTIGACIÓN EN BIOTECNOLOGÍA  
AMBIENTE Y QUÍMICA  
GAIBAQ



6. Aproximadamente, ¿Cuánto dinero obtiene en una cosecha? \_\_\_\_\_

7. ¿Utiliza fertilizantes y pesticidas en los cultivos? Sí  No

8. ¿Cuál es el nombre / tipo de los plaguicidas que usted utiliza con más frecuencia en sus cultivos y porqué??  
\_\_\_\_\_

SELECCIONE EL TIPO DE PLAGUICIDA

sello rojo \_\_\_ sello amarillo \_\_\_ sello azul \_\_\_ sello verde \_\_\_  
9. ¿Le brindan asesoramiento técnico? Sí  No

10. ¿Cada cuanto tiempo realiza la fumigación de plaguicidas en los cultivos? \_\_\_  
Cada mes \_\_\_ Cada 3 meses \_\_\_ Cada 6 meses \_\_\_ Otro \_\_\_

FERTILIZANTES O ABONOS

11. ¿Qué tipo de fertilizante utiliza?  
Orgánico  Químico   
Cual? \_\_\_\_\_  
Ambos

12. ¿Cada qué tiempo fertiliza el cultivo? \_\_\_\_\_

13. Tiempo que mantiene almacenado sus fertilizantes o abonos \_\_\_\_\_

PESTICIDAS

14. ¿Qué tipo de pesticida utiliza?  
Orgánico  Químico   
Cual? \_\_\_\_\_  
Ambos

15. ¿Cada qué tiempo fumiga el cultivo? \_\_\_\_\_

16. Tiempo que mantiene almacenado sus pesticidas \_\_\_\_\_

RESIDUOS AGRÍCOLAS

EQUIPO GAIBAQ

LEVANTAMIENTO DE INFORMACION A CARGO DE: \_\_\_\_\_

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Facultad de Ciencias

17. ¿Qué residuo genera su cultivo? GRUPO ASOCIADO DE INVESTIGACIÓN EN BIOTECNOLOGÍA

AMBIENTE Y QUÍMICA

GAIBAQ



PAPAS \_\_\_\_\_  
MAÍZ DURO \_\_\_\_\_  
HABAS \_\_\_\_\_  
CEBOLLA BLANCA \_\_\_\_\_  
CEBADA \_\_\_\_\_  
CEBOLLA BLANCA \_\_\_\_\_  
ZANAHORIA \_\_\_\_\_

ARVEJA \_\_\_\_\_  
CHOCLO \_\_\_\_\_  
MASHUA \_\_\_\_\_  
ALFALFA \_\_\_\_\_  
CILANTRO \_\_\_\_\_  
OTRO \_\_\_\_\_  
CUÁL \_\_\_\_\_

18. ¿Qué hace con los residuos al final de la cosecha?

Sirve de alimento para ganado y especies menores

Destinado a ser incinerado

Es nuevamente colocado como "nutriente" sobre el suelo.

Otro ¿Qué? \_\_\_\_\_

19. ¿Considera ud como residuo aquellos productos que por su mal estado no pueden ser destinados a la venta?

Sí  No

20. ¿Qué hace con los productos que no pueden ser vendidos en el mercado?

Consumo propio

Regala

Sirve de alimento para ganado y especies menores

Es nuevamente colocado como "nutriente" sobre el suelo.

Otro ¿Qué? \_\_\_\_\_

RIEGO DEL CULTIVO

21. ¿Utiliza agua de riego?

Sí  No

22. ¿ De dónde proviene el agua de riego?

Vertiente

Pozo

Río

Otro, ¿Cuál? \_\_\_\_\_

23. ¿Utiliza un sistema de riego?

EQUIPO GAIBAQ

LEVANTAMIENTO DE INFORMACION A CARGO DE: \_\_\_\_\_

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo  
Facultad de Ciencias  
GRUPO ASOCIADO DE INVESTIGACIÓN EN BIOTECNOLOGÍA  
AMBIENTE Y QUÍMICA  
GAIBAQ

Aspersores  
Manguera  
Goteo  
Inundación  
Otro, ¿Cuál?

24. ¿Cada cuánto tiempo riega su cultivo?

---

---

OTROS:  
( información adicional que considere importante )

---

---

---

---

EQUIPO GAIBAQ

LEVANTAMIENTO DE INFORMACION A CARGO DE: \_\_\_\_\_



Escuela Superior Politécnica de Chimborazo  
Facultad de Ciencias  
GRUPO ASOCIADO DE INVESTIGACIÓN EN BIOTECNOLOGÍA  
AMBIENTE Y QUÍMICA  
GAIBAQ

NOMBRE DEL TRABAJO: \_\_\_\_\_

Indicaciones: Por favor responda las siguientes preguntas teniendo en cuenta su experiencia personal. Marque con u respuesta.

SECTOR GANADERO

Nombre: \_\_\_\_\_ Comunidad: \_\_\_\_\_

Factor Socioeconómico

1. Número de integrantes de la familia: 3  5  7 o más

2. ¿Qué tipo de especies cría actualmente?

ESPECIE	NÚMERO			
GANADO BOVINO DE LECHE	<input type="text"/>	Criollo	<input type="checkbox"/>	Mejorado <input type="checkbox"/>
GANADO BOVINO DE CARNE	<input type="text"/>	Criollo	<input type="checkbox"/>	Mejorado <input type="checkbox"/>
GANADO OVINO	<input type="text"/>	Criollo	<input type="checkbox"/>	Mejorado <input type="checkbox"/>
GANADO PORCINO	<input type="text"/>	Criollo	<input type="checkbox"/>	Mejorado <input type="checkbox"/>
GANADO PORCINO	<input type="text"/>	Criollo	<input type="checkbox"/>	Mejorado <input type="checkbox"/>
GANADO EQUINO	<input type="text"/>			
CAMELIDOS ANDINOS	<input type="text"/>			

3. Número de hectáreas o solares destinadas al pastoreo

\_\_\_\_\_ Hectáreas \_\_\_\_\_ solares

4. El ganado se alimenta principalmente de:

Pastos

Alfalfa

Gramíneas: caña de maíz y trigo

Otro, ¿Cuál? \_\_\_\_\_

EQUIPO GAIBAQ

LEVANTAMIENTO DE INFORMACION A CARGO DE: \_\_\_\_\_



Escuela Superior Politécnica de Chimborazo  
Facultad de Ciencias  
GRUPO ASOCIADO DE INVESTIGACIÓN EN BIOTECNOLOGÍA  
AMBIENTE Y QUÍMICA  
GAIBAQ

5. Recibe ayuda técnica para la crianza del ganado Sí  No

¿Qué institución le brinda ayuda técnica para la crianza del ganado? \_\_\_\_\_

6. ¿Cuánto dinero invierte en la crianza de su ganado? \_\_\_\_\_

7. El ganado bebe de:

Vertiente

Pozo

Río

Agua de Riego

Otro, ¿Cuál? \_\_\_\_\_

8. ¿Cuanto dinero gana aproximadamente al mes por la venta del ganado? \_\_\_\_\_

SECTOR LECHERO

9. ¿A qué se encuentra destinada la leche que produce?

Planta de Enfriamiento y Acopio

Fabricación de productos lácteos

Llevada hacia una planta de  
pasteurización

¿Cuál? \_\_\_\_\_

Venta al por menor

Consumo Propio

Otro, ¿Cuál? \_\_\_\_\_

10. ¿Cuántos litros de leche produce aproximadamente al día? \_\_\_\_\_

11. ¿Cuánto dinero gana aproximadamente al mes por la venta de la leche? \_\_\_\_\_

RESIDUOS DEL SECTOR GANADERO

11. ¿Considera Ud. que el estiércol es un residuos? Sí  No

EQUIPO GAIBAQ

LEVANTAMIENTO DE INFORMACION A CARGO DE: \_\_\_\_\_



Escuela Superior Politécnica de Chimborazo  
Facultad de Ciencias  
GRUPO ASOCIADO DE INVESTIGACIÓN EN BIOTECNOLOGÍA  
AMBIENTE Y QUÍMICA  
GAIBAQ

13. ¿Qué usos le da al estiércol?

- No le da un uso   
Lo coloca directamente sobre el suelo   
Lo seca para su uso como un abono sobre el suelo

Lo vende   
Otro uso, ¿Cuál? \_\_\_\_\_

14. ¿Los residuos de estiércol se encuentran cerca a fuentes de agua?

Nunca  A veces  Regularmente  Frecuentemente  Siempre

15. ¿El ganado se encuentra cerca de fuentes de agua?

Nunca  A veces  Regularmente  Frecuentemente  Siempre

16. ¿Qué tiempo permanece el estiércol vacuno sobre el suelo?

2 a 5 horas  1 a 2 días  3 a 5 días  más de 1 semana  permanece sobre el suelo todo el tiempo

PESTICIDAS

17. ¿Utiliza pesticidas para fumigar las plagas de los pastos que son destinados para el ganado?

Sí  No

18. ¿Qué tipo de pesticidas utiliza?

Orgánico  Químico   
¿Cuál? \_\_\_\_\_

19. ¿Cuánto dinero invierte en pesticidas?

\_\_\_\_\_

20. ¿Cual es la raza de su ganado?

Holstein-Friesian \_\_\_\_\_  
Brown Swiss \_\_\_\_\_  
Guernsey \_\_\_\_\_  
Jersey \_\_\_\_\_  
Otro , cuál? \_\_\_\_\_

EQUIPO GAIBAQ

LEVANTAMIENTO DE INFORMACION A CARGO DE: \_\_\_\_\_





Escuela Superior Politécnica de Chimborazo  
Facultad de Ciencias  
GRUPO ASOCIADO DE INVESTIGACIÓN EN BIOTECNOLOGÍA  
AMBIENTE Y QUÍMICA  
GAIBAQ

21. ¿Cuántos litros de leche al día produce su ganado?

- 10 - 20 L \_\_\_\_\_
- 21 - 40 L \_\_\_\_\_
- 41 - 80 L \_\_\_\_\_
- MAS DE 80 L \_\_\_\_\_

22. ¿Con qué frecuencia consume la leche producida en el sector?

- 1-2 veces al día \_\_\_\_\_
- 2-3 veces al día \_\_\_\_\_
- Más de 3 veces al día \_\_\_\_\_
- Otro \_\_\_\_\_

OTROS:  
( información adicional que considere importante )

---

---

---

---

EQUIPO GAIBAQ

LEVANTAMIENTO DE INFORMACION A CARGO DE: \_\_\_\_\_

## ANEXO B: APLICACIÓN DE LAS ENCUESTAS A LA POBLACIÓN



Realizado por: Galárraga Macías Alejandro y Mancero Erika, 2022.

## ANEXO C: RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE SUELO Y BIOMASA.



Realizado por: Galárraga Macías Alejandro y Mancero Erika, 2022.

## ANEXO D: SECADO, MOLIENDA Y TAMIZADO DE LAS MUESTRAS.



Realizado por: Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

## ANEXO E: DETERMINACIÓN DE pH Y CONDUCTIVIDAD



Realizado por: Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

## ANEXO F: DETERMINACIÓN DE TEXTURA DE SUELOS



Realizado por: Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

## ANEXO G: DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA DE SUELOS Y BIOMASA



Realizado por: Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.



## ANEXO H: DIGESTIÓN ACIDA DE LAS MUESTRAS



Realizado por: Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

## ANEXO I: TITULACIÓN DE CARBONO OXIDABLE



Realizado por: Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

## ANEXO J: DETERMINACIÓN DE NITRÓGENO POR EL MÉTODO KJELDAHL



Realizado por: Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.

## ANEXO K: DETERMINACIÓN DE MACRO Y MICRONUTRIENTES POR EAA



Realizado por: Galárraga Macías Alejandro y Mancero Nieto Erika, 2022.



esPOCH

Dirección de Bibliotecas y  
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y  
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 18 / 02 / 2022

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> ERIKA PAMELA MANCERO NIETO ALEJANDRO PATRICIO GALÁRRAGA MACÍAS
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> CIENCIAS
<b>Carrera:</b> BIOQUÍMICA Y FARMACIA
<b>Título a optar:</b> BIOQUÍMICO FARMACÉUTICO
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Ing. Rafael Inty Salto Delgado

  
0141-DBRA-UPT-2023  
DIRECCION DE BIBLIOTECAS  
Y RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE  
Y LA INVESTIGACION  
Ing. Razonator Carreño Uguitas MBA  
DBRA 01 ANALISTA DE BIBLIOTECA 1