



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA QUÍMICA

EVALUACIÓN DEL CADMIO Y PLOMO EN SUELO Y FORRAJE.
CASO COLTA, PENIPE, RIOBAMBA.

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

QUÍMICO

AUTORES:

CHRISTIAN ALEXANDER ASTUDILLO TOBAR

PRICILA GUADALUPE HERRERA FIGUEROA

Riobamba – Ecuador

2024



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA QUÍMICA

EVALUACIÓN DEL CADMIO Y PLOMO EN SUELO Y FORRAJE.
CASO COLTA, PENIPE, RIOBAMBA.

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

QUÍMICO

AUTORES: CHRISTIAN ALEXANDER ASTUDILLO TOBAR

PRICILA GUADALUPE HERRERA FIGUEROA

DIRECTOR(A): ING. SILVANA PAOLA OCAÑA COELLO

Riobamba – Ecuador

2024

© 2024, Christian Alexander Astudillo Tobar & Pricila Guadalupe Herrera Figueroa

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.

Yo, Christian Alexander Astudillo Tobar y Pricila Guadalupe Herrera Figueroa, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor/autora asumo 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, 07 de junio de 2024





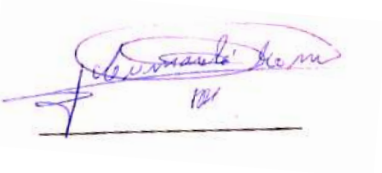
Christian Alexander Astudillo Tobar
1727541672



Pricila Guadalupe Herrera Figueroa
1850566835

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, “**EVALUACIÓN DEL CADMIO Y PLOMO EN SUELO Y FORRAJE. CASO COLTA, PENIPE, RIOBAMBA.**”, realizado por el señor y la señorita: **CHRISTIAN ALEXANDER ASTUDILLO TOBAR** y **PRICILA GUADALUPE HERRERA FIGUEROA**, 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.

	FIRMA	FECHA
Dra. Irene del Carmen Gavilanes Terán PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2024-06-07
Ing. Silvana Paola Ocaña Coello DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-06-07
Dra. Lourdes Cumandá Carrera Beltrán ASESORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-06-07

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis queridos padres, Víctor y Sandra, cuyo apoyo, paciencia y amor incondicional han sido la columna vertebral de mi esfuerzo diario. Su constante motivación me ha impulsado a alcanzar este importante objetivo. A mis hermanos, Diana, Javier y William, les agradezco profundamente sus palabras de aliento y su inquebrantable motivación. Han sido una fuente constante de fuerza, ayudándome a mejorar en todos los aspectos de mi vida. A mis sobrinos, Kelly y Sairy, les dedico este trabajo como símbolo de mi deseo de ser un ejemplo positivo para ellos. Su presencia en mi vida ha sido una inspiración para perseverar y superarme. Finalmente, dedico este logro a ustedes, que han sido faros guiando mi camino hacia el profesional y la persona que soy hoy. Su amor y apoyo han sido fundamentales en este viaje.

Christian

Dedico esta tesis a mi madre Nelly, que ha sido el pilar y el núcleo de la familia; a mis hermanos Santiago, Javier, Cristian y, en especial, a Viviana, quienes han sido de gran apoyo e inspiración en este recorrido; a mis docentes, por guiarme a ser una mejor persona y un buen profesional, a nuestros amigos, por el apoyo incondicional que ha sido fundamental en esta nueva etapa, finalmente, a mi pareja, Christian, por su amor y comprensión durante todo este proceso.

Pricila

AGRADECIMIENTO

No existen palabras suficientes en un solo párrafo para expresar toda mi gratitud hacia quienes me han brindado su apoyo. Principalmente, quiero agradecer a mis padres, hermanos y sobrinos, quienes siempre fueron mi motivo de superación. A toda mi familia, por sus constantes palabras de aliento que me animaron a seguir adelante. A mis amigos, con quienes he compartido risas y lágrimas, por estar a mi lado en cada paso del camino. A Pricila, su apoyo incondicional y su estímulo constante han sido esenciales para alcanzar este logro. Gracias a cada uno por su amor, paciencia y motivación. Sin ustedes, este sueño no habría sido posible.

Christian

Quiero expresar mis más profundos agradecimientos, a mi familia que me han brindado el apoyo incondicional gracias a su confianza y apoyo, a mis amigos que han permanecido en momentos de estrés, desafío y alegría. A Christian por su amor, comprensión y paciencia en todo este proceso, A todos los que creyeron en nosotros y nos alentaron a seguir adelante, especialmente en los momentos más difíciles. Este logro es el resultado del esfuerzo y dedicación compartidos, y lo llevo en mi corazón con gratitud y aprecio.

Pricila

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por darnos la oportunidad de formarnos académicamente, así como a todos los docentes que compartieron su conocimiento con nosotros, en especial a la Dra. Patricia Layedra y la Ing. Ericka Cazorla. Agradecemos a quienes conforman el Grupo Asociado de Investigación en Biotecnología, Ambiente y Química, en especial a la Dra. Nancy Veloz, Dra. Irene Gavilanes, Ing. Paola Oacaña, Dra. Cumandá Carrera, Ing. Steven Ramos y al Ing. Cristian Chuquin, por permitirnos formar parte de este y apoyarnos para culminar con éxito el presente trabajo. A nuestra gran amiga Cristina, por su apoyo incondicional en cada etapa de nuestras vidas. Gracias a todos por su dedicación, conocimiento y respaldo, sin los cuales este logro no habría sido posible.

Christian & Pricila

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS	xvii
RESUMEN.....	xviii
ABSTRACT	xix
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1.	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	3
1.1	Planteamiento del Problema	3
1.1.1	<i>Problema general de investigación.....</i>	4
1.1.2	<i>Problemas específicos de investigación.....</i>	4
1.2	Objetivos.....	4
1.2.1	<i>Objetivo general</i>	4
1.2.2	<i>Objetivos específicos.....</i>	4
1.3	Justificación.....	5
1.4	Hipótesis	5

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO	6
2.1	Antecedentes.....	6
2.2	Bases Teóricas	7
2.2.1	<i>Contaminación del suelo.....</i>	7
2.2.2	<i>Fuentes de contaminación del suelo</i>	8
2.2.3	<i>Fuentes antropogénicas</i>	8

2.2.4	Fuentes geogénicas naturales.....	8
2.2.5	Volcán Sangay.....	9
2.2.5.1	Actividad del volcán Sangay.....	9
2.2.6	Volcán Tungurahua.....	10
2.2.6.1	Actividad del volcán Tungurahua.....	11
2.2.7	Composición de ceniza volcánica	12
2.2.8	Metales pesados en el suelo	13
2.2.8.1	Plomo.....	13
2.2.8.2	Cadmio.....	13
2.2.9	Disponibilidad de metales de transición y metales pesados en el suelo	13
2.2.10	Factores que influyen en la disponibilidad de metales pesados en el suelo.....	14
2.2.10.1	Potencial de hidrógeno.....	14
2.2.10.2	Densidad.....	14
2.2.10.3	Capacidad de intercambio catiónico.....	15
2.2.10.4	Textura.....	15
2.2.10.5	Materia orgánica.....	15
2.2.10.6	Conductividad eléctrica.....	15
2.2.11	Iones esenciales del suelo	16
2.2.11.1	Principales iones en procesos químicos del suelo.....	16
2.2.12	Principales cationes intercambiables	18
2.2.12.1	Calcio.....	18
2.2.12.2	Magnesio.....	19
2.2.12.3	Potasio.....	19
2.2.12.4	Sodio.....	20
2.2.12.5	Aluminio e hidrógeno.....	20
2.2.13	Principales aniones solubles.....	20
2.2.14	Haluros.....	21
2.2.15	Ciclo químico del suelo-planta	21

2.2.16	<i>Comparativa de aniones y cationes en suelo y forraje</i>	22
2.2.17	<i>Afecciones a la salud por metales pesados</i>	22
2.3	Bases conceptuales	22
2.3.1	<i>Concepto del suelo</i>	22
2.3.2	<i>Forraje</i>	23
2.3.3	<i>Metales pesados</i>	23
2.4	Bases legales	24
2.4.1	<i>Acuerdo ministerial 097A</i>	24
2.4.2	<i>Límite máximo permisible de metales pesados en plantas</i>	24

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	26
3.1	Tipo de Investigación	26
3.2	Diseño de la investigación	26
3.2.1	<i>Identificación de Variables</i>	26
3.2.1.1	<i>Variable dependiente</i>	27
3.2.1.2	<i>Variable independiente</i>	27
3.2.2	<i>Planteamiento de la hipótesis</i>	27
3.2.2.1	<i>Hipótesis general</i>	27
3.2.2.2	<i>Hipótesis específica</i>	27
3.2.3	<i>Operacionalización de variables</i>	27
3.2.3.1	<i>Variable dependiente</i>	28
3.2.3.2	<i>Variable independiente</i>	28
3.2.4	<i>Localización de estudio</i>	32
3.2.4.1	<i>Cantón Colta</i>	32
3.2.4.2	<i>Cantón Penipe</i>	32
3.2.4.3	<i>Cantón Riobamba</i>	33
3.2.5	<i>Población de estudio</i>	33

3.2.6	Tamaño de la muestra	34
3.2.7	Método de muestreo	34
3.2.8	Técnica de recolección de datos	34
3.2.9	Análisis estadístico inferencial	35
3.3	Técnicas y métodos	35
3.3.1	Revisión ambiental inicial	35
3.3.1.1	<i>Identificación de los puntos de control ambiental</i>	35
3.3.1.2	<i>Descripción del ambiente abiótico, biótico y socioeconómico</i>	36
3.3.1.3	<i>Determinación del área de influencia</i>	36
3.3.2	Levantamiento de información mediante encuestas	36
3.3.3	Preparación de las muestras	37
3.3.4	Análisis fisicoquímico y físico del suelo	38
3.3.4.1	<i>Determinación de pH</i>	38
3.3.4.2	<i>Determinación de conductividad eléctrica (CE)</i>	38
3.3.4.3	<i>Determinación de materia orgánica (MO)</i>	39
3.3.4.4	<i>Determinación de la densidad aparente (Da)</i>	40
3.3.4.5	<i>Determinación de la densidad real (Dr)</i>	40
3.3.4.6	<i>Determinación de la textura</i>	41
3.3.5	Análisis de macronutrientes del suelo	42
3.3.5.1	<i>Determinación de potasio (K)</i>	42
3.3.5.2	<i>Determinación de fósforo (P)</i>	43
3.3.5.3	<i>Determinación de carbono (C), nitrógeno (N) y relación C/N</i>	44
3.3.6	Análisis fisicoquímico del forraje	45
3.3.6.1	<i>Determinación de materia orgánica (MO)</i>	45
3.3.7	Análisis de nutrientes del forraje	45
3.3.7.1	<i>Determinación de Nitratos</i>	45
3.3.7.2	<i>Determinación de Fosfatos</i>	46
3.3.7.3	<i>Determinación de Sulfatos</i>	46

3.3.7.4	<i>Determinación de Cloruros</i>	47
3.3.7.5	<i>Determinación de sodio (Na) y potasio (K)</i>	48
3.3.7.6	<i>Determinación de fósforo (P)</i>	48
3.3.7.7	<i>Determinación de carbono (C) y nitrógeno (N)</i>	49
3.3.8	<i>Determinación de metales pesados por Espectroscopía de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS)</i>	49
3.3.8.1	<i>Digestión asistida por microondas de suelo y forraje</i>	49
3.3.8.2	<i>Determinación de cadmio (Cd) y plomo (Pb)</i>	50

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	51
4.1	Revisión ambiental inicial	51
4.1.1	<i>Identificación de los puntos de control ambiental</i>	51
4.1.2	<i>Descripción del ambiente abiótico</i>	52
4.1.2.1	<i>Calidad del agua de los cantones de Colta, Penipe y Riobamba</i>	52
4.1.2.2	<i>Calidad del suelo de los cantones de Colta, Penipe y Riobamba</i>	53
4.1.2.3	<i>Calidad del aire de los cantones de Colta, Penipe y Riobamba</i>	54
4.1.3	<i>Descripción del ambiente biótico</i>	55
4.1.3.1	<i>Cantón Colta</i>	55
4.1.3.2	<i>Cantón Penipe</i>	58
4.1.3.3	<i>Cantón Riobamba</i>	66
4.1.4	<i>Descripción del medio socioeconómico</i>	68
4.1.4.1	<i>Cantón Colta</i>	68
4.1.4.2	<i>Cantón Penipe</i>	70
4.1.4.3	<i>Cantón Riobamba</i>	73
4.1.5	<i>Determinación del área de influencia</i>	74
4.1.5.1	<i>Área de influencia directa</i>	74
4.1.5.2	<i>Área de influencia indirecta</i>	75

4.2	Resultados de las encuestas.....	75
4.2.1	<i>Factor socioeconómico</i>	75
4.2.2	<i>Sector lechero.....</i>	79
4.2.3	<i>Residuos del sector lechero.....</i>	80
4.2.4	<i>Pesticidas</i>	83
4.3	Resultados del suelo.....	85
4.3.1	<i>Resultados de los análisis fisicoquímicos y físicas del suelo</i>	85
4.3.1.1	<i>Análisis y discusión del pH en suelo.....</i>	86
4.3.1.2	<i>Análisis y discusión de la conductividad eléctrica en suelo</i>	87
4.3.1.3	<i>Análisis y discusión de materia orgánica en suelo</i>	87
4.3.1.4	<i>Análisis y discusión de la densidad aparente en suelo</i>	88
4.3.1.5	<i>Análisis y discusión de la densidad real en suelo.....</i>	89
4.3.1.6	<i>Análisis y discusión de textura en suelo.....</i>	89
4.3.2	<i>Resultados de macronutrientes en suelo</i>	90
4.3.2.1	<i>Análisis y discusión del potasio</i>	91
4.3.2.2	<i>Análisis y discusión del fósforo.....</i>	91
4.3.2.3	<i>Análisis y discusión del carbono.....</i>	92
4.3.2.4	<i>Análisis y discusión del nitrógeno.....</i>	93
4.3.2.5	<i>Análisis y discusión de la relación C/N</i>	93
4.3.3	<i>Resultados de metales pesados en suelo.....</i>	94
4.3.3.1	<i>Análisis y discusión de cadmio y plomo en el suelo.....</i>	95
4.4	Resultados del forraje.....	96
4.4.1	<i>Resultados del análisis de la materia orgánica del forraje.....</i>	96
4.4.1.1	<i>Análisis y discusión de la materia orgánica del forraje</i>	96
4.4.2	<i>Resultados del análisis de macro y micronutrientes del forraje.....</i>	98
4.4.2.1	<i>Análisis y discusión de nitratos del forraje.....</i>	99
4.4.2.2	<i>Análisis y discusión de fosfatos del forraje.....</i>	99
4.4.2.3	<i>Análisis y discusión de sulfatos del forraje.....</i>	100

4.4.2.4	<i>Análisis y discusión de cloruros del forraje</i>	100
4.4.2.5	<i>Análisis y discusión de la sodio y potasio del forraje</i>	101
4.4.2.6	<i>Análisis y discusión de fósforo del forraje</i>	102
4.4.2.7	<i>Análisis y discusión de carbono del forraje</i>	103
4.4.2.8	<i>Análisis y discusión de nitrógeno del forraje</i>	103
4.4.3	<i>Resultados de metales pesado en forraje</i>	104
4.4.3.1	<i>Análisis y discusión de cadmio y plomo en el forraje</i>	104
4.5	Comprobación de hipótesis	105

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	107
5.1	Conclusiones	107
5.2	Recomendaciones	108

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Principales iones en procesos químicos del suelo.	16
Tabla 2-2: Parámetros generales de criterios de calidad del suelo.....	24
Tabla 2-3: Parámetros inorgánicos de criterios de calidad del suelo.	24
Tabla 2-4: Parámetros inorgánicos de criterios de calidad del forraje (grano de cereal, hierba y materia vegetal).....	25
Tabla 3-1: Operacionalización de variable dependiente: Concentración de Cd y Pb.	28
Tabla 3-2: Operacionalización de variable independiente: Suelo y forraje.	28
Tabla 4-1: Cobertura vegetal del cantón Colta.	55
Tabla 4-2: Fauna presente en el cantón Colta.	58
Tabla 4-3: Cobertura vegetal cantón Penipe.	59
Tabla 4-4: Avifauna presente en el cantón Penipe.....	62
Tabla 4-5: Mastofauna presente en el cantón Penipe.....	65
Tabla 4-6: Herpetofauna (anfibios) presente en el cantón Penipe.	66
Tabla 4-7: Herpetofauna (reptiles) presente en el cantón Penipe.....	66
Tabla 4-8: Cobertura vegetal del cantón Penipe.	67
Tabla 4-9: Fauna del cantón Riobamba.	67
Tabla 4-10: Población presente en el cantón Colta.	68
Tabla 4-11: Perfil epidemiológico del cantón Colta.	70
Tabla 4-12: Población presente en el cantón Penipe.....	71
Tabla 4-13: Patologías que afectan el cantón Penipe.....	72
Tabla 4-14: Resultados de los análisis fisicoquímicos y físicos de las muestras de suelo.....	86
Tabla 4-15: Resultados de macronutrientes en suelo.....	90
Tabla 4-16: Resultados de metales pesados en suelo.....	94
Tabla 4-17: Resultados del análisis de la materia orgánica del forraje.....	96
Tabla 4-18: Resultados de macro y micronutrientes del forraje.	98
Tabla 4-19: Resultados de metales pesado en forraje.	104
Tabla 4-20: Resultados del Análisis de Varianza de un Factor.	105

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1: Simulaciones de dispersión y caída de ceniza del volcán Sangay para una erupción moderada.	10
Ilustración 2-2: Simulaciones de dispersión y caída de ceniza del volcán Sangay para una erupción grande.....	10
Ilustración 2-3: Simulación de dispersión y caída del volcán Tungurahua.....	11
Ilustración 3-1: Cantón Colta, Punto 1, Punto 2 de recolección de muestras.....	32
Ilustración 3-2: Cantón Penipe, Punto 1, Punto 2 de recolección de muestras.	33
Ilustración 3-3: Cantón Riobamba, Punto 1, Punto 2 de recolección de muestras.	33
Ilustración 3-4: Recolección de muestras de Forraje y suelo	35
Ilustración 3-5: Levantamiento de información mediante encuestas.	37
Ilustración 3-6: Preparación de las muestras de suelo y forraje.	38
Ilustración 3-7: Determinación de pH y conductividad de suelo.	38
Ilustración 3-8: Determinación de materia orgánica del suelo.	39
Ilustración 3-9: Determinación de densidad aparente del suelo.	40
Ilustración 3-10: Determinación de densidad real del suelo.	41
Ilustración 3-11: Determinación de textura del suelo.....	42
Ilustración 3-12: Triángulo de la textura del suelo.....	42
Ilustración 3-13: Determinación del potasio por el fotómetro de llama en suelo.....	43
Ilustración 3-14: Determinación de fósforo por el espectrofotómetro UV-Visible en suelo. ..	44
Ilustración 3-15: Determinación de carbono y nitrógeno en suelo por el analizador elemental Dumas.	44
Ilustración 3-16: Determinación de materia orgánica en forraje.....	45
Ilustración 3-17: Determinación de nitratos, sulfatos y fosfatos de forraje.....	46
Ilustración 3-18: Determinación de cloruros en suelo.....	47
Ilustración 3-19: Determinación de sodio y potasio por fotómetro de llama en forraje.....	48
Ilustración 3-20: Determinación de fósforo en el forraje por espectrofotómetro UV-Visible.	49
Ilustración 3-21: Determinación de carbono y nitrógeno en forraje por analizador elemental Dumas.	49
Ilustración 3-22: Digestión asistida por microondas de suelo y forraje.	50
Ilustración 4-1: Puntos de control y localización de estudio.....	51
Ilustración 4-2: Número de trabajadores	75
Ilustración 4-3: Tipo de ganado que cría las personas encuestadas.	76

Ilustración 4-4: Raza de ganado que cría las personas encuestadas.	76
Ilustración 4-5: Número de hectáreas que poseen las personas encuestadas.	77
Ilustración 4-6: Número de solares que poseen las personas encuestadas.	77
Ilustración 4-7: Alimento del ganado de las personas encuestadas.....	78
Ilustración 4-8: Ayuda recibida para la crianza del ganado de las personas encuestadas.	78
Ilustración 4-9: Agua utilizada para el ganado de las personas encuestadas.....	79
Ilustración 4-10: Destino de la leche de las personas encuestadas.....	80
Ilustración 4-11: Consideración del lactosuero por las personas encuestadas.	81
Ilustración 4-12: Destino del lactosuero por las personas encuestadas.	81
Ilustración 4-13: Estiércol cerca de fuentes de agua por las personas encuestadas.....	82
Ilustración 4-14: Lugar del ganado de las personas encuestadas.	82
Ilustración 4-15: Permanencia del estiércol del ganado en el suelo de las personas encuestados.	83
Ilustración 4-16: Utilización de pesticidas por las personas encuestas.	83
Ilustración 4-17: Marca de pesticidas utilizados por las personas encuestadas.	84
Ilustración 4-18: Tipo de pesticida usado por las personas encuestadas.....	84
Ilustración 4-19: Raza del ganado de las personas encuestadas.....	85

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: ENCUESTA PLANTEADA A LOS MORADORES DEL CANTÓN COLTA,
PENIPE Y RIOBAMBA

ANEXO B: LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN MEDIANTE ENCUESTAS

ANEXO C: RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

ANEXO D: PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

ANEXO E: ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS DE LAS MUESTRAS DE SUELO Y FORRAJE

ANEXO F: DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS POR ESPECTROSCOPIA DE
MASAS CON PLASMA ACOPLADO INDUCTIVAMENTE (ICP-MS)

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar las concentraciones de los metales pesados cadmio y plomo en suelo y forraje perteneciente a los cantones Colta, Penipe y Riobamba, de la provincia de Chimborazo. Para ello, se determinó la concentración de estos metales mediante Espectrometría de Masas con Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-MS). Se utilizó un tipo de muestreo aleatorio simple en seis puntos, de los cuales dos pertenecen a cada uno de los cantones estudiados. Esto se realizó en el sector ganadero, con ayuda de una revisión ambiental inicial y por medio de encuestas. Los parámetros de análisis fueron pH, conductividad eléctrica, densidad real, densidad aparente, textura, materia orgánica, y metales pesados; además, se determinaron los niveles de macro y micronutrientes. Posteriormente, los resultados obtenidos fueron ingresados en el software SPSS, donde se realizó el análisis de varianza ANOVA de un factor, seguido de la prueba de TUKEY-B. Las concentraciones presentadas en materia seca respecto al plomo no superan los límites permisibles según el acuerdo ministerial 097A. En el caso del cadmio, se superan los límites en las muestras S3, S4, S5, mientras que la muestra S6 se acerca al límite en el caso del suelo. Respecto al forraje, se consideraron los límites permisibles por la OMS; el plomo no supera los límites permisibles, mientras que el cadmio se supera en todas las muestras. Sin embargo, teniendo en cuenta la normativa de la Agencia de Protección Ambiental, se superan los límites solo en dos muestras, F3 y F5. Se concluye que el cadmio ha generado una ligera afectación en los cantones estudiados, principalmente en Colta y Penipe en las dos muestras, mientras que el plomo no representa un problema de contaminación. De esta manera, se recomienda un monitoreo regular de posibles variaciones en las concentraciones de metales pesados para la toma de medidas preventivas.

Palabras clave: <CADMIO>, <PLOMO>, <METALES PESADOS>, <COLTA (CANTÓN)>, <PENIPE (CANTÓN)>, <RIOBAMBA (CANTÓN)>, <SUELO>, <FORRAJE>.

0733-DBRA-UPT-2024



ABSTRACT

This study aimed to evaluate the concentrations of heavy metals, such as cadmium and lead, in soil and forage in the cantons of Colta, Penipe, and Riobamba in the province of Chimborazo. For this purpose, the concentration of these metals was determined by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS). Simple random sampling was used at six points, with two points belonging to each studied canton. This was conducted in the livestock industry, with the help of an initial environmental review and surveys. The analysis parameters included pH, electrical conductivity, real density, bulk density, texture, organic matter, and heavy metals. The levels of macro and micronutrients were also determined. Subsequently, the results were entered SPSS software, where a one-factor ANOVA analysis of variance was performed, followed by the TUKEY-B test. The lead concentration in the dry matter does not exceed the limits in samples S3, S4, and S5, while sample S6 is close to the limit in the case of soil. Regarding forage, the OMS permissible limits were considered; lead does not exceed the permissible limits, while cadmium exceeds them in all samples. However, considering the Environmental Protection Agency regulations, the limits are exceeded in only two samples, F3 and F5. It is concluded that cadmium has slightly affected the cantons studied, mainly in samples from Colta and Penipe, while lead does not represent a contamination problem. Therefore, regular monitoring of possible variations in heavy metal concentrations is recommended to take preventive measures.

Keywords: <CADMIUM>, <LEAD>, <HEAVY METALS>, <COLTA (CANTON)>, <PENIPE (CANTON)>, <RIOBAMBA (CANTON) >, <SOIL, FORAGE.>.



Lcdo. Edison Renato Ruiz Lopez, Mgs.

0603957044

INTRODUCCIÓN

Ecuador es un país caracterizado por su rica diversidad volcánica, alberga 27 volcanes potencialmente activos, entre los que destaca el volcán Tungurahua y el Sangay. Las provincias cercanas tal como el Chimborazo se ven afectados, particularmente en los cantones Colta, Penipe y Riobamba, los cuales se han vuelto vulnerables debido a las persistentes caídas de ceniza volcánica. Esta ceniza impacta directamente en las actividades agrícolas y ganaderas cruciales para la economía local. La provincia de Chimborazo se destaca por la producción de leche de manera significativa, lo cual se ve afectado por la presencia de metales pesados en la ceniza, generando una amenaza tanto en la salud humana como animal. A su vez las actividades humanas como la industria, el excesivo uso de pesticidas, plaguicidas y el indebido manejo de los desechos pueden ser factores que contribuyan a las afectaciones mencionadas anteriormente. En el país se menciona en el acuerdo ministerial 097A que el límite máximo permisible de cadmio y plomo en el suelo es de 0,5 y 19 mg/Kg respectivamente, mientras que en el forraje no se especifica uno, la Organización Mundial de la Salud y la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos dictaminan que el límite máximo permisible de cadmio en el forraje es de 0,06; 0,12 y 0,30 mg/Kg y de plomo es de 0,23; 0,89 y 10 mg/Kg.

Las características físicas, fisicoquímicas y químicas presentes en el suelo son factores fundamentales que pueden influir en una mayor o menor disponibilidad de los metales pesados en el suelo, dichas características a determinar son el pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, densidad real, densidad aparente, textura del suelo, porcentaje de carbono, nitrógeno, potasio y fósforo. Por otro lado, en el forraje las características a determinar son la materia orgánica, aniones (sulfatos, fosfatos, nitratos y cloruros), micro y macronutrientes (fósforo, carbono, nitrógeno, sodio y potasio) y para la determinación de la presencia de metales pesados en las mismas se pueden utilizar técnicas como espectroscopía de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS).

Por tal razón el objetivo principal del presente trabajo de investigación fue evaluar la concentración de cadmio y plomo en suelo y forraje de los cantones Colta, Penipe y Riobamba, donde los resultados obtenidos proporcionarían información crucial para comprender el estado de contaminación por metales pesados en estas áreas ya que también se busca contribuir a un proyecto macro del Grupo Asociado de Investigación en Biotecnología, Ambiente y Química (GAIBAQ), dirigido a mejorar la calidad del suelo en la región.

El trabajo de investigación muestra en su estructura cinco capítulos, en el capítulo I se detalla el problema de la investigación, en el capítulo II se presenta el marco teórico, el cual detalla bases teóricas, conceptuales y legales, las cuales permiten comprender de mejor manera el presente trabajo, en el capítulo III se presenta la metodología, donde se detallan los métodos y técnicas implementadas para realizar este, en el capítulo IV se muestran los resultados obtenidos en la investigación con el respectivo análisis y discusión con diferentes autores y normas nacionales e internacionales y finalmente el capítulo V donde se plasman las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del Problema

Ecuador es un país que posee una gran variedad de volcanes, hasta el presente se han contabilizado 27 volcanes potencialmente activos, siendo el volcán Tungurahua y Sangay parte de ellos (Instituto Geofísico, 2015a). Las zonas rurales aledañas son más vulnerables debido al alto impacto por caídas de ceniza volcánica (Tungurahua, Cotopaxi, Chimborazo), lo cual afecta directamente a su casi única fuente de ingresos económicos, la agricultura y la ganadería (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2023, p. 4). La provincia de Chimborazo produce aproximadamente 649,223 L de leche diarios (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2022), siendo Colta, Penipe y Riobamba parte de la producción.

Los metales pesados al ser parte de los alimentos generan un problema para la salud tanto de productos agrícolas, humanos y animales (De la Cueva et al., 2021, p. 22). Las plantas tienen la capacidad de absorber dichos metales utilizando como medio las raíces, llegando así a los tallos y hojas para posteriormente ser consumido por el ganado vacuno pasando así al sistema y tejidos adiposos (Zhou et al., 2019, p. 5). Las intensas caídas de ceniza volcánica pueden generar repercusiones respiratorias agudas como irritación en el pecho, la nariz y la garganta, llegando a agravar el asma y la bronquitis, esto debido a que presenta partículas pequeñas clasificadas como torácicas y respirables, con una proporción del 5 % en peso, en el caso de la ceniza del volcán Tungurahua (Bustillos et al., 2018, p. 72). Los metales pesados pueden generar graves repercusiones en la salud al tener la capacidad de bioacumularse en tejidos y huesos, que afectan el sistema nervioso, generando enfermedades cardiovasculares, respiratorias y cáncer (Asitimbay y Yumiseba, 2022, p. 23), pues se ha reportado que en el 2016 en la provincia de Chimborazo una de las principales causas de muerte es el cáncer de mama (Moyano y Pagalo, 2018, p. 2). Por lo cual es importante conocer el impacto que ha tenido la ceniza volcánica y determinar la concentración de los metales pesados en el suelo y forraje.

El presente trabajo busca contribuir con una base de datos para un proyecto macro que se desarrolla dentro del grupo de GAIBAQ, que tiene el fin de dar un control y mejorar la calidad del suelo

1.1.1 Problema general de investigación

¿Cuál es la concentración de Cadmio y Plomo que se encuentran en el suelo y forraje de los cantones Colta, Penipe y Riobamba?

1.1.2 Problemas específicos de investigación

- ¿Qué factores y fuentes contribuyen a la afectación de cadmio y plomo en el suelo y forraje en los cantones Colta, Penipe y Riobamba?
- ¿Cuáles son las características físicas, fisicoquímicas y químicas del suelo y forraje?
- ¿Cuál es la relación de cadmio y plomo presentes en el suelo y forraje con los límites permisibles?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Evaluar la concentración de cadmio y plomo en suelo y forraje de los cantones Colta, Penipe y Riobamba.

1.2.2 Objetivos específicos

- Identificar las fuentes y factores que contribuyen a la contaminación con cadmio y plomo en suelo y forraje mediante fuentes bibliográficas para conocer su impacto en las zonas de Colta, Penipe y Riobamba.
- Caracterizar suelo y forraje mediante técnicas analíticas para la determinación de propiedades físicas, fisicoquímicas y químicas.
- Cuantificar la concentración de cadmio y plomo mediante ICP-MS para su posterior comparación con las normativas establecidas.
- Comparar la concentración de cadmio y plomo en suelo y forraje de las diferentes localidades a través de un análisis estadístico para la determinación de posibles variaciones.

1.3 Justificación

La Organización Mundial de la Salud (OMS) registró que en la provincia de Chimborazo se presentaron caídas de ceniza del volcán Tungurahua, siendo Penipe el más afectado con intensas caídas; mientras que en Colta y Riobamba presento una moderada caída (OMS, 2006.), afectando un área de 1142926,1 ha de las cuales 152747 ha pertenecen a Colta, Penipe y Riobamba, perjudicando significativamente al sector agropecuario y a sus principales actividades económicas en el sector agrícola y ganadero, siendo este último el más impactado por la pérdida de ganado vacuno (Valencia, 2010, p. 16-18). El volcán Tungurahua es considerado como potencialmente activo pese a su última erupción en 2016 (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2023, p. 4). Cuya ceniza presenta óxidos de metales alcalinotérreos, de transición y metaloides (Bustillos et al., 2018, p. 63), los metales pesados presentes al ser especies químicas no son degradables, pero tienden a cambiar su estado de oxidación por lo que pueden distribuirse entre los entornos aire, agua, suelo o incorporarse a los seres vivos por medio de la ingesta de alimentos tal como el forraje para el ganado vacuno y la leche cruda (Vullo, 2003, p. 94; Wada, 1987, p. 17) a, razón por la cual es crucial evaluar la concentración de estos metales para aportar al desarrollo de un proyecto macro realizado por el Grupo Asociado de Investigación Biotecnología, Ambiente y Química (GAIBAQ), que busca mitigar los riesgos asociados a la contaminación ambiental. La aplicación de técnicas analíticas avanzadas tal como el ICP-MS permitirá evaluar las concentraciones de metales pesados como Pb, Cd, Cr y As en diferentes muestras como leche cruda, suelo, ensilado y forraje (Zhou et al., 2019, p. 7), por otro lado, el presente proyecto busca determinar Pb y Cd en suelo y forraje consumido por el ganado vacuno en los cantones de Colta, Penipe y Riobamba, proporcionando datos cruciales para la toma de decisiones en materia de seguridad alimentaria.

Este proyecto de investigación está avalado por parte del grupo GAIBAQ ya que contribuirá a la evaluación de los efectos de la actividad volcánica en la contaminación de alimentos como forraje para el ganado vacuno y suelo, además de que ayudará a llevar un control de las concentraciones presentes de los metales pesados, teniendo en cuenta el máximo permitido por las entidades regulatorias.

1.4 Hipótesis

La concentración de cadmio y plomo presentes en el suelo y forraje de los cantones Colta, Penipe y Riobamba superan los límites permisibles por las entidades reguladoras.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Ecuador es considerado como un país lechero, siendo Chimborazo una provincia que aporta al mismo, sin embargo, las diferentes fuentes de contaminación como la industria, los agroquímicos, eventos naturales como la caída de ceniza del volcán Tungurahua y Sangay en los últimos años han presentado dificultades en las principales actividades económicas en las parroquias rurales de los cantones Colta, Penipe y Riobamba (Instituto Geofísico, 2023) dedicadas a la producción de leche, según el INEC en el año 2022 hubo una disminución del ganado vacuno en comparación al año 2021, sin embargo hubo un aumento del 12,4 % en pastos cultivados (Ipiates y Cuichán, 2023, p. 12), por lo cual la disminución en la producción de leche puede deberse a que los ganaderos ganan menos del precio oficial por litro de leche, el cual es inestable (Andrade et al., 2023, p. 40) o problemas de la salud en el ganado vacuno que provocan la reducción en la producción de leche y disminución en la calidad de la misma.

En ciertos estudios relacionados se menciona que la ceniza volcánica presenta metales pesados, óxidos y minerales en su composición, lo cual puede ser beneficioso para el suelo al transcurrir el tiempo, como se menciona en un estudio realizado por (Morales y Erazo, 2020, p. 17) donde resalta que la concentración de Cr, Ni y Pb no representan una amenaza, ya que no superan el límite permisible, por otro lado, el Cd si, por ende, existe una contaminación en el suelo.

Al haber una contaminación en el suelo existe una correlación entre suelo forraje y leche, esto debido a que el forraje utilizado para alimentar el ganado vacuno absorbe dichos contaminantes llegando hasta la leche como lo menciona (Zhou et al., 2019, p. 2-3), la presencia de As que está ligeramente relacionado con el forraje, el Cr y Cd presenta una correlación positiva entre leche y forraje, así también entre leche y suelo, el Pb tuvo una correlación positiva entre leche y forraje. La presencia de Pb y Cd en la leche puede deberse a las actividades industriales, mientras que el As al agua potable.

En un estudio en el cual determinaron la contaminación por metales pesados en alimentos en Ecuador: metaanálisis, propone una reseña en Ecuador respecto a la presencia de metales pesados en queso, donde el queso fresco presenta concentraciones considerables de metales pesados como

Pb, As, Hg y Cd entre otros alimentos en los que se llevaron los análisis superaron los límites permisibles establecidos por las normas INEN en el Ecuador (Romero, 2020, p. 48-57).

En un estudio se analizó 58 muestras de leche donde el 98,28 % contenían presencia de Pb, superando el límite permisible, el cual puede indicar la presencia de dicho metales tanto en suelo como en los alimentos del ganado, a su vez detectó Hg y As, sin embargo, estos metales están bajo los límites establecidos, aunque la concentración de estos metales pesados no se presenta de manera excesiva, sigue siendo preocupante la presencia de estos, ya que pueden llegar a bioacumularse en los tejidos adiposos llegando a presentar problemas de salud como el cáncer (De la Cueva et al., 2021, p. 21).

En un estudio en el cual realizaron la determinación de presencia de micro plásticos y plomo en muestras de leche cruda, en la cual por medio de ICP-OES dando como resultado que de un total de veinte y nueve muestras de Azuay el 595 supera los límites permisibles según normas nacionales e internacionales de plomo (Ortega y Solis, 2023, p. 85-86).

En un estudio en el cual determinaron la contaminación de metales pesados en el Ecuador, donde realizaron un análisis químico, ambiental, tóxico, normativo y analítico, en el cual se recopila el Hg, Pb, Cd, As y Zn los cuales son los principales metales pesados que contaminan el agua; en el caso del suelo, este presenta mayor contaminación por el Hg, Cd y Pb, siendo el aire el que presentó mayor contaminación por plomo, siendo el área industrial el principal contaminante tales como agroindustrias, refinerías de petróleo y metalúrgica (Calero, 2023, p. 32-34).

En Perú realizaron un análisis transversal no experimental con el cual se determinó la presencia de plomo en la leche, obteniendo que el 37,5 % de un total de 40 muestras superaron los límites máximos permisibles según la OMS que es 0,02 mg/Kg, mientras que el 62,5 % restantes presentan valores menores a 0,018 que siguen siendo cercanos al límite (Martínez y Soto, 2019, p. 34-35).

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Contaminación del suelo

La contaminación presente en el suelo depende de las sustancias químicas y la toxicidad que represente la concentración de los compuestos, los metales pesados en específico interactúan en el suelo según su composición, especialmente con la parte arcillosa, los óxidos hidróxidos,

carbonatos y materia orgánica entre otros componentes que pasan por tales como: oxidación, reducción, adsorción, precipitación, quelación, sustitución lo cual depende de la composición del suelo. Un ejemplo de contaminación puede ser los plaguicidas, los cuales según el tipo interactúan con la materia orgánica edáfica del suelo volviendo estos biodegradables al modificar la estructura del suelo. El exceso de hidrocarburos genera significativamente una reducción del crecimiento de microorganismos y plantas en el suelo impidiendo la respiración de este (Bautista, 1999, p. 20-22).

2.2.2 Fuentes de contaminación del suelo

La contaminación del suelo por metales pesados (MP) puede verse afectada por contaminación natural, que proviene de la matriz rocosa original de procesos volcánicos o de lixiviación de minerales y contaminación antrópica procedente de la actividad minera, industrial, residuos urbanos y actividad agrícola por el uso excesivo de fertilizantes químicos (Galán y Romero, 2008, p. 48; Jiménez, 2017, p. 7).

2.2.3 Fuentes antropogénicas

La industria es la principal fuente de afección debido al manejo de desechos y residuos de estos, tales como plásticos, textiles, minería, mecánicas, baterías y pinturas que generan degradación y deterioro del ecosistema por usos indiscriminados, como por ejemplo: los agroquímicos como los pesticidas que son fuente de cadmio, plomo, arsénico, mercurio, cromo y níquel; mientras que los fertilizantes, plaguicidas y estiércol de animal son fuente de cobre, cadmio, plomo y mercurio; cuyas concentraciones al ser elevadas perjudican el metabolismo de las plantas y la productividad del suelo, además de ello se han registrado niveles preocupantes de mercurio debido a la minería artesanal en Ecuador en el 2016 (Calero, 2023, p. 22). Además de ello se reconoce que la práctica convencional de fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio se da por la carencia de azufre, pues este se incrementa a medida que se sustituye el fertilizante de superfosfato triple, pues este contiene una fracción molar de sulfato de 0,5 a diferencia del superfosfato (Bohn et al., 1993, p. 329-331).

2.2.4 Fuentes geogénicas naturales

El suelo es producido por diversos procesos que parten de la interacción de los cuatro sistemas que componen el planeta Tierra, siendo la geósfera aquella que es afectada por un fenómeno denominado meteorización, lo cual puede ser químico o mecánico que con condiciones estables a lo largo del tiempo genera un equilibrio, el cual es favorecido por propiedades de las rocas y la

topografía. Los MP pasan por este proceso desde la roca madre a los suelos de manera conjunta con otros que proceden de emisiones volcánicas y lixiviados de minerales (Galán y Romero, 2008, p. 48).

2.2.5 Volcán Sangay

El volcán Sangay se encuentra ubicado en la cordillera del Ecuador y está conformado por cuatro cráteres, siendo considerado un estrato volcánico de 523m con una altura aproximada de 1800m, este se ha registrado activo desde 1628 con explosiones violentas y tenues, llegando a expulsar masa, flujo piroclástico, ceniza y gases, actividades frecuentes y espontáneas (Johnson et al., 2003, p. 37-38; Monzier et al., 1999, p. 50-51).

2.2.5.1 Actividad del volcán Sangay

Según el instituto geofísico en la actividad del año 1628, se generó una gran columna de ceniza que afectó directamente a Riobamba (Instituto Geofísico, 2023). Como (Monzier et al., 1999) lo menciona “pero es a partir del siglo XVIII cuando se tienen descripciones con más detalle de la actividad. Algunas erupciones importantes ocurrieron en 1728, 1738-1744, 1842-1843, 1849, 1854-1859, 1867-1874, 1872, 1903, 1934-1937, 1941-1942, 1975-1976 y 1995-Presente” (p. 50-51). Estas erupciones se caracterizaron por ser de tipo estromboliano, con fuentes de lava, explosiones, emisiones y caída de ceniza, frecuentes flujos de lava, flujos piroclásticos y lahares (Ordóñez et al., 2011, p. 1).

A partir de 1998 presentó una actividad baja con emisiones constantes de gases y cenizas, se debe considerar que la mayor parte de las lavas presentes son andesita basáltica (Johnson et al., 2003, p. 37-38; Monzier et al., 1999, p. 50-51). Pero a partir del año 2015 la conducta del volcán se volvió repetitiva, con una variación a actividad intensa de 2 a 3 meses, seguidas por un reposo entre 9 a 13 meses siendo esta la última fase eruptiva el 7 de mayo de 2019, la cual se mantiene en la actualidad (Herrería, 2021, p. 35).

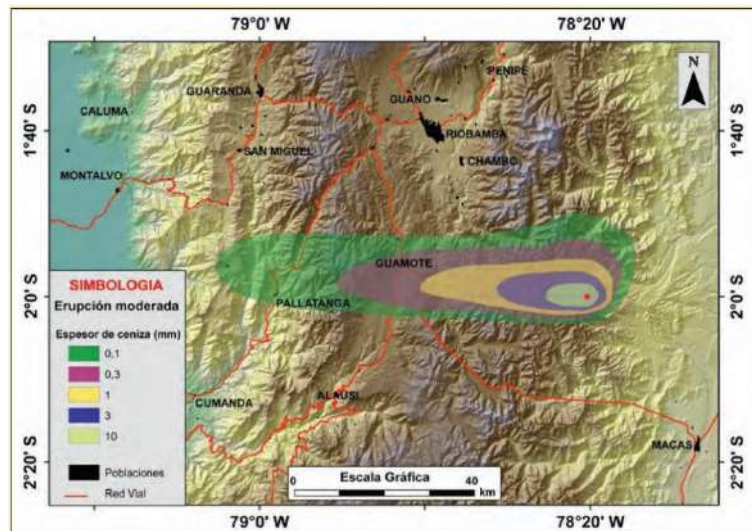


Ilustración 2-1: Simulaciones de dispersión y caída de ceniza del volcán Sangay para una erupción moderada.

Fuente: Ordóñez et al., 2011.

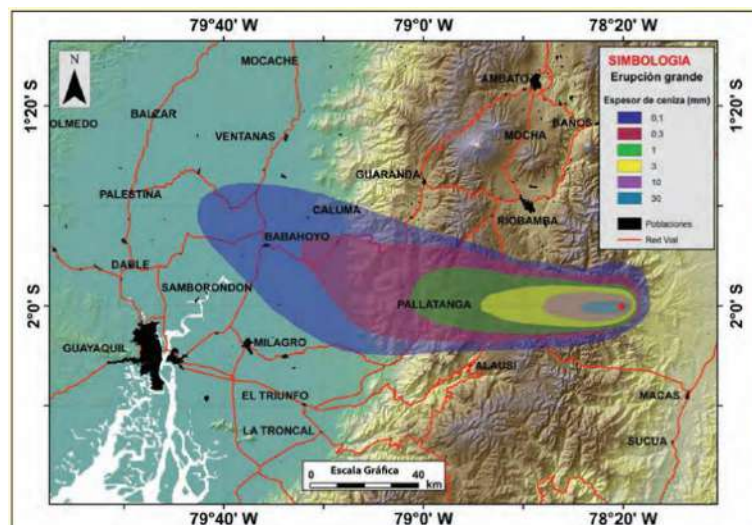


Ilustración 2-2: Simulaciones de dispersión y caída de ceniza del volcán Sangay para una erupción grande

Fuente: Ordóñez et al., 2011.

2.2.6 Volcán Tungurahua

El volcán Tungurahua se encuentra ubicado en la cordillera del Ecuador a unos 60 Km del norte de Sangay, es considerado un estratovolcán de 3000 m con una altura de 5016 m, ha presentado erupciones en 1916-1918 de lava andesítica y flujos piroclásticos, finalmente comenzó la actividad en 1999 con la expulsión de magma, gases y ceniza (Johnson et al., 2003, p. 43-45).

2.2.6.1 Actividad del volcán Tungurahua

El volcán Tungurahua reporta cuatro incidentes relevantes, los cuales son los periodos: 1641-1646, 1773-1781, 1886-1888 y 1916-1918, de los cuales el primero se encuentra en confirmación, generando emisiones de lava y flujos piroclásticos. Siendo las más históricas las de 1886 y 1916-1918. Además, en 1797 se dieron explosiones de cráter, coincidiendo con el terremoto que destruyó Riobamba, generando un aumento de actividad a partir del año 1857, posterior al periodo eruptivo de 1916-1918, la actividad de emisión de gases se mantuvo hasta el 1925 (Hall et al., 1999, p. 3). De esta forma debido a la frecuencia de erupciones por siglo, este volcán ha sido considerado como uno de los más activos, posteriormente en octubre de 1999 se inició un nuevo periodo eruptivo con mayor actividad de noviembre-diciembre de 1999, agosto de 2001, septiembre de 2002, septiembre-noviembre de 2003 y mayo-julio de 2004, fases las cuales se distinguieron por un estilo estromboliano, de duración limitada de hasta 7 Km por encima de la cima, adicional de una lluvia de ceniza de manera regional, posteriormente se dieron periodos inactivos de 2005-2006 a partir del cual se dio inicio a una alta actividad explosiva, posteriormente se presentó menor actividad en 2008 y 2010 (Samaniego et al., 2011, p. 70-71). En 2013 nuevamente presentó una explosión seguida por un temblor reportando caída de ceniza en el oeste del volcán, afectando a Bilbao, Chacauco, Cotalo, Cahuají, Choglontus, El Manzano, Puela y Penipe. Cuya lluvia de ceniza también se dispersó a provincias cercanas como: Chimborazo, Tungurahua, Bolívar y Manabí (Parra et al., 2016, p. 2).

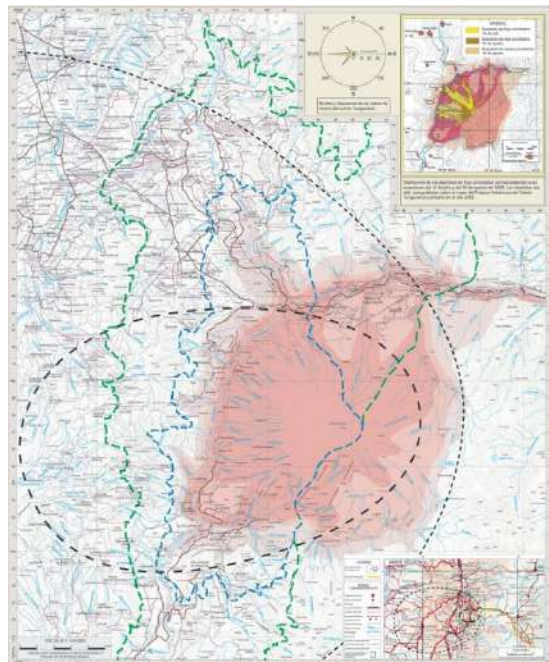


Ilustración 2-3: Simulación de dispersión y caída del volcán Tungurahua.

Fuente: Samaniego et al., 2008.

2.2.7 *Composición de ceniza volcánica*

Durante el proceso de erupción, las cenizas experimentan cambios en su composición, dando lugar a una estratificación en varias capas durante su deposición. La capa inferior exhibe ceniza gris oscuro con una concentración elevada de rocas antiguas y fragmentos de cristal, mientras que la capa intermedia está compuesta por una mezcla de fragmentos de vidrio y piedra pómez. La capa superior consiste en cenizas de partículas muy finas, las cuales son transportadas a distancias considerables por los vientos predominantes. En general, el tamaño medio de las partículas de ceniza disminuye a medida que se aleja del volcán, se observan diferencias notales en la composición química entre las muestras recogidas cerca del volcán y aquellas recogidas a distancias mayores. Aunque la velocidad de caída terminal puede afectar la formación de depósitos, se destaca que la composición química también varía entre las zonas, indicando posibles impactos ambientales y agrícolas distintos. Se encuentran elementos ultra traza, incluyendo algunos potencialmente tóxicos como cadmio, arsénico y selenio, presentes en concentraciones detectables, pero sus bajos niveles sugieren un impacto ambiental limitado en cantidades nominales acuosas. La mayoría de los componentes solubles incluyen iones de calcio, magnesio, sodio, cloruro, sulfato y ocasionalmente amonio. La mayoría de los elementos se encuentran en niveles traza, excepto el cadmio, cobre, litio, manganeso, estroncio y zinc, junto con los no metales, flúor y boro, que están presentes en concentraciones menores. Estos resultados respaldan la idea de que la mayor parte de los componentes solubles se condensan en la superficie de las partículas de ceniza volcánica. En cuanto a los iones, como potasio, sodio, amonio y cloruro, son eliminados durante la primera lixiviación, sugiriendo su presencia en forma soluble, probablemente como NaCl, KCl y NH₄Cl. Las proporciones molares de estos cationes con respecto al cloruro indican esta probable composición. En los volúmenes de lixiviación posteriores, se encuentran cantidades apreciables de calcio, magnesio y sulfato, sugiriendo la presencia de sales menos solubles en agua desionizada, como CaSO₄ y MgSO₄. Esto concuerda con estudios que indican la presencia de cristales de NaCl y CaSO₄ en la superficie de las partículas de ceniza. Los niveles de carbono inorgánico disuelto en las disoluciones de lixiviado varían entre 0,5 y 5,0 mg/L, siendo menos significativos en comparación con las concentraciones de cloruros y sulfatos. Además de ello se han encontrado MP concentraciones variables de cadmio y hierro, mientras que los niveles de fluoruro son similares con investigaciones anteriores, adicionalmente se ha identificado carbono orgánico disuelto en niveles de 6 a 225 mg/L, lo que se atribuye a la condensación en la atmósfera de productos de pirólisis vegetal quemada alrededor del volcán (Taylor y Lichte, 1980, p. 949-952).

2.2.8 Metales pesados en el suelo

2.2.8.1 Plomo

En relación con la existencia del plomo, este es un metal que se encuentra naturalmente presente en todas las rocas y suelos, generalmente en proporciones que oscilan entre 2 y 200 partes por millón (ppm). La concentración de plomo puede ser notablemente elevada en ciertos suelos, atribuible a la riqueza de este metal en las rocas subyacentes. El plomo se encuentra en la corteza terrestre en forma de metal y sales (Goetschel, 2018, p. 18; Pozo, 2017, p. 124).

2.2.8.2 Cadmio

El cadmio se considera como un nutriente con niveles máximos aceptables de 0,05 mg/L, participando en ciclos biológicos internos relacionados con la materia orgánica en partículas. Sus concentraciones disminuyen en aguas superficiales debido a la acción directa del fitoplancton y la adsorción en partículas biogénicas a través de procesos redox. Sin embargo, su aumento representa un riesgo para la salud del ecosistema. Las fuentes naturales de contaminación incluyen erupciones volcánicas (Goetschel, 2018, p. 27; Pozo, 2017, p. 124).

2.2.9 Disponibilidad de metales de transición y metales pesados en el suelo

El suelo desempeña un papel general como una barrera de protección para medios más susceptibles, al filtrar, descomponer contaminantes, reduciendo la biodisponibilidad. Esta capacidad de depurar el suelo se influencia por diversos factores como los niveles de materia orgánica, carbonatos, oxi hidróxidos de hierro y de magnesio, la proporción y el tipo de mineral es en la arcilla, la capacidad de intercambio catiónico, el pH, CE, textura, permeabilidad y actividad microbiana. Por lo tanto, en cada situación, existe un límite del poder depurador del suelo. Cuando estos límites se sobrepasan para uno o varios contaminantes, este suelo es considerado como contaminado y puede convertirse en un fuente de contaminación. La capacidad amortiguadora del suelo se refiere su habilidad de controlar los efectos negativos de los contaminantes, volviéndolos inactivos. En el caso de suelos agrícolas, se estableció la capacidad de carga para metales pesados dependiendo de las propiedades del suelo, tipo e historial de contaminación, parámetros ambientales además de determinados organismos que representan ser tóxicos. Los efectos amortiguadores se pueden dar por diversas reacciones en el suelo tal como

neutralización, entre otras que nivelan la carga crítica permisible de contaminantes biodisponibles (Galán y Romero, 2008, p. 48-50).

2.2.10 Factores que influyen en la disponibilidad de metales pesados en el suelo

La presencia de metales pesados puede variar según su movilidad, lo cual influye en la disponibilidad de estos en el suelo, esto dependerá de las características que presenta el suelo como: pH, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, materia orgánica, densidad y textura (García et al., 2002, p. 132).

2.2.10.1 Potencial de hidrógeno

El potencial de hidrógeno (pH) determina como puede afectar la disponibilidad de nutrientes para las plantas, la actividad microbiana y la solubilidad de metales entre otros compuestos en el suelo (Chuquín et al., 2023, p. 11-12). Ya que, al acidificar el suelo, este permite la solubilidad de los metales, aumentando así su biodisponibilidad, por otro lado, al disminuir el pH y la presencia de aniones en el suelo, esto genera un aumento en la cantidad de metales solubles en el suelo (García et al., 2002, p. 131).

2.2.10.2 Densidad

El suelo al ser poroso presenta dos densidades, la aparente y la real. En donde la densidad aparente del suelo es considerada como la relación entre la masa de las partículas del suelo y el volumen total, incluyendo el espacio poroso que se ocupa (Forsythe, 1985, p. 39). Las variaciones entre la densidad aparente reflejan alteraciones entre la estructura del suelo, volviéndose así un indicador de la porosidad del suelo total, proporcionando así información relevante respecto a las propiedades del suelo como la compactación, porosidad, aireación y capacidad de infiltración, que influyen en la infiltración del agua y procesos necesarios para el crecimiento de las plantas. La densidad aparente afecta directamente el crecimiento de las raíces, ya que un aumento en ella conlleva un incremento en la resistencia mecánica y una disminución en la porosidad del suelo, limitando así el desarrollo de las raíces (Chancusig, 2022, p. 41), mientras que la densidad real es considerado el peso de las partículas sólidas del suelo, relacionado con el volumen que ocupan por los poros; deduciendo así la dependencia de la composición de los minerales del suelo y de la estructura de algunas especies en este, como materia orgánica y los óxidos de hierro (Jaramillo, 2002, p. 183).

2.2.10.3 Capacidad de intercambio catiónico

Este factor se refiere a la capacidad del suelo para absorber cationes, siendo igual a la carga negativa del suelo. Esta característica determina la cantidad de lugares disponibles para retener los cationes contra procesos como la lixiviación, evitando así la pérdida de nutrientes de las plantas. Dado que la retención ocurre en la superficie debido a diferencias de carga electrostática, los cationes que se absorben pueden intercambiarse por otros de la solución en el suelo, pasando a ser cationes intercambiables esenciales para la nutrición de las plantas, los cationes más relevantes en este proceso con: Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+ (Jaramillo, 2002, p. 321).

2.2.10.4 Textura

La textura es considerada como una característica de la fase sólida del suelo, en específico de la parte inorgánica al estar relacionado con la base inicial del suelo. Esta se refiere a la distribución proporcional de partículas de diámetro menores a 2 mm, denominadas tierra fina en el suelo. Estas partículas se clasifican como: arena, limo y arcilla, según estándares de diversas instituciones internacionales (Jaramillo, 2002, p. 165).

2.2.10.5 Materia orgánica

La materia orgánica presente en el suelo actúa como un elemento precursor de la sostenibilidad de este con la biomasa microbiana del suelo. Representa un efecto duradero el cual se debe a la formación de una estructura en forma de red alrededor de los componentes inorgánicos, así como la unión de estos con los grupos carboxílico, carbonilo e hidroxilo, fenómeno que refuerza la capacidad de agregación de la materia orgánica en el suelo, de esta manera la función de la materia orgánica en el proceso de agregación muestra resultados acumulativos de los métodos de integración, así como la dinámica de descomposición de diversas formas de carbono orgánico y su integración con minerales, ejerciendo influencia sobre las características de los poros y áreas propensas a alteraciones en los suelos (Payahuala, 2009, p. 19).

2.2.10.6 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica (CE) del suelo se refiere a la capacidad para conducir corriente eléctrica, dependiendo de la presencia de iones positivos y negativos en la solución del suelo, siendo un indicador del contenido de sales (Bosch et al., 2012, p. 96).

2.2.11 Iones esenciales del suelo

Los elementos esenciales para las plantas se dividen en macronutrientes los cuales son requeridos en grandes cantidades y micronutrientes que son necesarios en pequeñas cantidades. Los animales también necesitan macronutrientes como sodio y cloro, así como micronutrientes como flúor y silicio, cromo níquel, cobalto, arsénico, selenio, yodo y estaño. Aunque las plantas obtienen hidrógeno carbono y oxígeno del aire y agua, el suelo provee capacidad de retención de agua y porosidad para el intercambio de gases. Los animales obtienen sus elementos esenciales de las plantas, volviéndose relevante la capacidad de las plantas de suministrar estos elementos a los animales dependiendo a la vez de la capacidad de los suelos de retención y la transición a las raíces. En ocasiones las concentraciones de los nutrientes se encuentran en mínimas cantidades o en exceso, se considera que las plantas pueden tolerar un rango más amplio al absorberlos, pues estas han evolucionado a los desequilibrios (Bohn et al., 1993, p. 21-23).

2.2.11.1 Principales iones en procesos químicos del suelo

Tabla 2-1: Principales iones en procesos químicos del suelo.

ION	Descripción
Principales cationes intercambiables	
Ca ²⁺ Mg ²⁺ K ⁺ Na ⁺ NH ₄ ⁺ Al ³⁺ (H ⁺)	Se presentan de manera predominante como cationes intercambiables; estos iones se pueden manejar fácilmente con la ayuda de cal, riego o acidificación; el Al ³⁺ intercambiable es característico de suelos ácidos, aunque rara vez es el catión intercambiable predominante. Los suelos agrícolas productivos son ricos en Ca ²⁺ intercambiable
Aniones principales	
NO ₃ ⁻ SO ₄ ²⁻ Cl ⁻ HCO ₃ ⁻ , CO ₃ ²⁻	Presentes en concentraciones considerablemente más bajas que los cationes principales en todos los suelos, excepto en los de textura bastante gruesa y fuertemente salinos, donde son, en esencia, iguales; el sulfato y el NO ₃ ⁻ son fuentes importantes de nutrientes para los vegetales; las sales de sulfato, Cl ⁻ y HCO ₃ ⁻ se acumulan en suelos salinos; los iones de carbonato se encuentran

	presentes en cantidades apreciables sólo en suelos con un pH > 9
Aniones poco solubles	
H ₂ PO ₄ ⁻ , HPO ₄ ²⁻ H ₂ AsO ₄ ⁻ , AsO ₂ ⁻ H ₃ BO ₃ , H ₂ BO ₃ ⁻ Si (OH) ₄ MnO ₄ ²⁻	Los suelos los retienen con fuerza; los boratos son los más solubles del grupo; su retención o fijación en suelos depende del pH; el molibdato y la sílice son más solubles a pH alto; el fosfato es más soluble a pH neutro o ligeramente ácido.
Metales de Transición y Aluminio	
Al ³⁺ , Al (OH) ₂ ⁺ , Al (OH) ₂ ²⁺ TiOOH ⁺ Fe (OH) ₂ ⁺ , Fe ²⁺ Mn ²⁺ Cu ²⁺ Zn ²⁺	Hidróxidos insolubles que tienden a acumularse en los suelos a medida que se intemperizan la sílice y otros iones; el hierro y manganeso son más solubles en suelos reducidos o inundados. Más solubles que los cationes anteriores en todos los suelos, excepto en los muy ácidos; al incrementar la acidez se incrementa su disponibilidad; forma complejos con la materia orgánica del suelo.
Iones tóxicos	
Al ³⁺ , Cd ²⁺ Pb ²⁺ Hg ²⁺ , Hg Be ₂₊ , AsO ₄ ³⁻ , Cr ₄ ²⁻	Su comportamiento es similar al de los metales de transición; el Al ³⁺ es un peligro para los vegetales; los otros representan mayor riesgo para los animales; el Cd ²⁺ es de relativa solubilidad, disponible para los vegetales y su retención no depende del todo del pH; los vegetales aprovechan menos el resto de los iones al aumentar el pH, excepto tal vez el As; los últimos tres iones han sido poco estudiados en cuanto a su comportamiento en suelos se refiere.
Variedades activas en las reacciones de reducción y oxidación	
C (orgánico a HCO ₃ ⁻) O (O ²⁻ a O ₂) N (-NH ₂ a NO ₃ ⁻) S (-SH a SO ₄ ²⁻) Fe (Fe ²⁺ a FeOOH) Mn (Mn ²⁺ a MnO ₁₄) Se (orgánico a SeO ₄ ²⁻)	La parte de la bioquímica que trata sobre los suelos gira en torno a los cambios del estado de oxidación de los compuestos del carbono, nitrógeno y azufre; el oxígeno molecular es el principal aceptor de electrones; el Fe (III), Mn (III-IV), el nitrato y sulfato son los aceptores de electrones cuando el suministro de oxígeno es bajo.

En la tabla 2-1 se representan los elementos activos en las reacciones de reducción y oxidación, mostrando sus estados de oxidación comunes en los suelos y los iones más probables en sus soluciones. Los estados de oxidación altos son características de soluciones de suelos aeróbicos, mientras que los bajos suelen encontrarse en la materia orgánica, suelos anaeróbicos y minerales volcánicos. Algunos elementos aparecen en múltiples grupos debido a propiedades importantes compartidas. Aunque la tabla sugiere un comportamiento casi paralelo, no es idéntico. La importancia relativa de los elementos en el suelo se debe a su abundancia, rapidez de reacción o su función como fuente de energía. Por ejemplo, los iones de metales de transición y aluminio generan acidez en la hidrólisis del suelo, siendo el aluminio dominante debido a la abundancia y su naturaleza como ácido débil en rango de pH moderadamente ácidos (Bohn et al., 1993, p. 322).

2.2.12 Principales cationes intercambiables

La calidad y composición del suelo se ven significativamente afectados por la presencia de cationes intercambiables y sales solubles, estos cationes son aquellos que pueden ser eliminados con soluciones salinas neutras y prevalecen en la capa doble difusa que rodea las partículas coloidales del suelo, siendo más comunes en suelos agrícolas en el orden de $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ = \text{Na}^+$, debido a la carga neta de la mayoría de los coloides. La solución global, situada fuera de la doble capa difusa contiene sales solubles con concentraciones relativas de cationes como $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+$ según análisis realizados en suelos lixiviados de suelos húmedos. En suelos bien drenados de regiones húmedas, las concentraciones totales de sales suelen oscilar entre 0,001 y 0,01 M., mientras que, en suelos áridos con riego, estas concentraciones pueden ser de cinco a diez veces superiores, debido a la extracción de sales con la transpiración. Otros cationes alcalinos y alcalinotérreos están presentes en cantidades mínimas, con variabilidad entre sus concentraciones totales y algunos frutos de árboles son sensibles incluso a pequeñas cantidades, como 1 mg/L de Li^+ en el agua de riego. Excluyendo algunos minerales del suelo, la fuerza de absorción de cationes generalmente aumenta con la carga del ion y disminuye el tamaño del ion deshidratado, siendo cationes monovalentes y divalentes importantes en suelos naturales (Bohn et al., 1993, p. 322-324).

2.2.12.1 Calcio

Los cultivos se han vuelto más rentables y prosperan cuando predomina el Ca^{2+} en el intercambio, indicando pH casi neutro lo cual es ideal para los vegetales y microorganismos. Aunque el Ca^{2+} es esencial y rara vez escasea, en suelos derivados de rocas ricas en magnesio o suelos saturados de aluminio, puede haber deficiencias especialmente cuando el Mg^{2+} y el Al^{3+} son abundantes, restringiendo la absorción de Ca^{2+} en las plantas. La alta concentración de calcio es deseable, ya que implica bajos niveles de otros cationes intercambiables problemáticos como Al^{3+} en suelos ácidos y Na^+ en suelos sódicos. La rehabilitación de suelos ácidos o sódicos busca reemplazar Al^{3+} o Na^+ por Ca^{2+} . Tras la aplicación de cal, la pérdida anual de Ca^{2+} es comparable a la pérdida natural por meteorización del suelo, la precipitación de carbonato de calcio es común en suelos subhúmedos o áridos formando capas duras, la velocidad del agua, actividad de raíces, difusión de dióxido de carbono afectan la precipitación. Aunque los suelos derivados de rocas calizas pueden liberar Ca^{2+} y HCO_3^- mediante la meteorización, su capacidad de intercambio catiónico es baja y la fertilidad aumenta con silicatos (Bohn et al., 1993, p. 324-325).

2.2.12.2 *Magnesio*

Este es uno de los cationes intercambiables que se encuentra en mayor abundancia en suelos, siendo poco común en cantidades excesivas o deficientes. En algunos suelos ácidos y arenosos se han reportado deficiencias en vegetales esencialmente en Europa. La aplicación de cal tiende a corregir la acidez como la deficiencia de Mg^{2+} , ya que las rocas calizas poseen impurezas significativas de magnesio. En condiciones críticas y con cultivos que demandan niveles altos de magnesio este se encuentra ligado a condiciones físicas deficientes del suelo a un pH elevado, similar a las condiciones de suelos sódicos. En algunos casos, esto puede deberse a la formación del suelo en ambientes marinos, siendo más probable que se dé la lixiviación del sodio dejando al magnesio. Los suelos derivados de la serpentina, además de tener altos niveles de Mg intercambiable también es propenso a tener concentraciones significativas de metales pesados, además de ello cabe resaltar que este catión se encuentra en varios aluminosilicatos primarios, secundarios, excluyendo feldespatos (Bohn et al., 1993, p. 325-326).

2.2.12.3 *Potasio*

El potasio es considerado un fertilizante crucial, ocupando el tercer lugar después del nitrógeno y el fósforo. En muchas regiones templadas y húmedas, los suelos generalmente carecen de suficiente potasio para los cultivos, los agricultores han utilizado cenizas y material calcáreos para contrarrestar la toxicidad de aluminio y suministrar potasio. A pesar de ser monovalente el potasio

tiene un baja concentraciones en las soluciones del suelo debido a su fuerte adsorción por minerales de silicatos laminares 2:1 teniendo un intercambio lento, Los suelos tropicales derivados de lava intemperizada para el suministro del potasio a los cultivos es relevante. En suelos de regiones templadas, la presencia de la biota en fracciones arcillosas indica la adecuada disponibilidad de potasio, siendo esencial la fertilización continua en suelos deficientes como en suelos de limo que posee una reintegración lenta generando pérdidas por lixiviación en comparación con suelos arenosos (Bohn et al., 1993, p. 326).

2.2.12.4 Sodio

El suelo se vuelve relevante cuando se encuentra en exceso, superando de 5 al 15 % de los cationes intercambiables. Esta acumulación ocurre en áreas inundadas por agua marina, el exceso del sodio genera la de floculación de arcillas y materia orgánica, generando impermeabilidad al agua y aire. En concentraciones altas, impide el movimiento del agua en suelos, aunque puede generar infiltración en suelos expansibles con grietas, el sodio puede reemplazar parte del potasio, lo cual puede llegar a ser toxico al encontrarse en concentraciones elevadas, restringiendo el movimiento del agua (Bohn et al., 1993, p. 327).

2.2.12.5 Aluminio e hidrógeno

La acidez en la mayoría de los suelos proviene de la hidrólisis de aluminio, especialmente en su forma polimerizada e hidratada, que se considera intercambiable solo en un pH menor a 5,5. La baja intercambiabilidad se atribuye a la fuerte absorción de iones poliméricos. El hidrógeno puede construir una parte apreciable de los cationes intercambiables en los suelos muy ácidos debido a la oxidación de sulfuros o compuestos orgánicos con azufre, que se encuentran frecuentemente en desechos mineros. Aunque la cantidad de hidrógeno en los suelos es pequeña, su actividad es vital ya que influye en las propiedades químicas y afecta los iones y los microorganismos. La medición del pH, especialmente en suelos ácidos, es crucial para predecir la necesidad de cal. En suelos básicos la alcalinidad se controla mediante la disolución de carbonato de calcio. La relación entre los cationes intercambiables dominantes y el pH se puede resumir mediante reacciones químicas (Bohn et al., 1993, p. 327-329).

2.2.13 Principales aniones solubles

En el caso de suelos no salinos la concentración de aniones en estado acuoso es menor que la de los cationes, la carga negativa de los suelos proviene de partículas coloidales y de la doble capa eléctrica que repele aniones, la cual a medida que disminuye la repulsión aumenta la superficie coloidal, siendo así, mayores las concentraciones de aniones en suelos salinos, lo cual limita las propiedades del suelo y el crecimiento de las plantas, exceptuando las posibles deficiencias de azufre o nitrógeno. Los suelos tienen la tendencia a retener de manera débil los aniones solubles principales, siendo el nitrato y el cloruro los que se mueven casi a la misma velocidad que la solución del suelo. En suelos altamente intemperizados y ricos en óxidos de aluminio y hierro, la retención aniónica, especialmente para el sulfato, experimenta un notable aumento. Las concentraciones de nitratos en soluciones de suelo reflejan el nitrógeno total y la aplicación de fertilizantes, la gestión de residuos puede influir en estas concentraciones. Es importante señalar que la entrada de nitratos debido a las prácticas agrícolas puede contribuir a la contaminación del agua y la acumulación de estos en aguas subterráneas (Bohn et al., 1993, p. 329-331).

2.2.14 Haluros

Los iones monovalentes de flúor, cloro, bromo y yodo representan los estados de oxidación estables de los halógenos presentes en los suelos. El cloruro es esencial para las plantas en cantidades mínimas y para los animales en cantidades más elevadas, siendo las plantas tolerantes a concentraciones altas en cloro. Sin embargo, un exceso de este ion en el suelo puede incrementar significativamente la presión osmótica del agua, reduciendo su disponibilidad para las plantas. Mientras que el cloruro proviene principalmente de la lluvia, suspensiones coloidales marinas y emisiones volcánicas, las actividades humanas como el ablandamiento de aguas y el descongelamiento de carreteras han introducido cantidades significativas en áreas locales. Otros haluros como el fluoruro, yoduro y bromuro están presentes en cantidades ínfimas en los suelos, cuyas concentraciones varían según la acidez del suelo y su comportamiento es similar al cloruro. El fluoruro es el más singular ya que se encuentra comúnmente en rocas ígneas y puede afectar a la salud ambiental, especialmente en las cercanías de industrias productoras de fertilizantes de fosfato y fundición de aluminio y hierro. Las concentraciones de fluoruro en suelos y aguas muestran variabilidad regional, pero generalmente muestran concentraciones menores en regiones húmedas y templadas, siendo mayor en zonas áridas (Bohn et al., 1993, p. 331-333).

2.2.15 Ciclo químico del suelo-planta

La dinámica de los ciclos del carbono, nitrógeno y azufre entre la atmósfera, los océanos y los suelos exhibe una rapidez notable, que se ven afectados por factores como la adsorción, precipitación, amortiguamiento del pH y absorción por parte de las plantas que actúan como mecanismos efectivos para reducir la velocidad de eliminación de elementos del suelo, respecto a la contaminación química, esta se da cuando se encuentra en corrientes de agua o vertederos afectando e interrumpiendo significativamente el ciclo suelo-plantas. Por lo cual es esencial la gestión sostenible de la disponibilidad del agua (Bohn et al., 1993, p. 27-28).

2.2.16 Comparativa de aniones y cationes en suelo y forraje

Los organismos demandan una cantidad y diversidad de cationes en comparación con los aniones, posiblemente debido a que la vida se originó en soluciones de suelo abundantemente cargadas de cationes. A lo largo del proceso evolutivo, los organismos han demostrado una adaptación oportunista al entorno en el que se desarrollan, reflejando su composición química. La secuencia catiónica en muchos seres vivos, como plantas y animales, se asemeja al orden de disponibilidad de cationes en los suelos, en marcado contraste con la composición del agua de mar. Además, los fluidos corporales en animales exhiben similitudes con las soluciones del suelo y en su superficie (Bohn et al., 1993, p. 32).

2.2.17 Afecciones a la salud por metales pesados

Los elementos traza, si bien algunos cumplen funciones biológicas, incluso en bajas concentraciones pueden generar intoxicaciones, como en el caso del cadmio que produce severos daños en los pulmones y riñones; el plomo genera daños al sistema nervioso central, cerebro, riñones y células sanguíneas (Gómez, 2015, p. 17).

2.3 Bases conceptuales

2.3.1 Concepto del suelo

El suelo es una mezcla de sólidos orgánicos e inorgánicos, aire agua y microorganismos. Todas estas fases influyen entre sí, la reacción de los sólidos afecta la calidad del aire y del agua, éstos desgastan los sólidos y los microorganismos catalizan muchas de estas reacciones. La parte de la química que estudia los suelos estudia estas reacciones, aunque hace énfasis en la solución del suelo constituida por una fina película constituida que rodea las partículas del suelo (Bohn et al.,

1993, p. 15). El suelo es considerado un ente natural y dinámico que experimenta cambios continuos en el tiempo y el espacio, siendo el sustento de una amplia variedad de microorganismos, incluida la vegetación, destacada por ser vital en actividades agrícolas y ser una fuente alimentaria fundamental para la humanidad. Al abordar su estudio, se puede conceptualizar al suelo como un sistema abierto que realiza intercambios de materia y energía con su entorno, dando lugar a diversos procesos físicos, químicos y biológicos que determinan su morfología y propiedades. A nivel global, junto a capas como la hidrosfera, litosfera, atmósfera e incluso biósfera, el suelo se presenta como una capa específica denominada “edafósfera” que facilita el intercambio de materia y energía entre la litosfera y atmósfera, dando protección en contra de los efectos climáticos (Bautista, 1999, p. 22).

2.3.2 Forraje

El término forraje se refiere a las plantas o partes de las plantas que se cultivan y utilizan como alimento para el ganado, especialmente herbívoros como vacas, ovejas, caballos. El forraje puede incluir pasto, hierbas y otras plantas como leguminosas que son cosechadas y suministradas como alimento a los animales de pastoreo o en sistemas de alimentación controlada. Las características que este posea dependerán de ciertos factores como el tipo de suelo, clima, etc (Gonzales, 2023; Pérez y Merino, 2022).

2.3.3 Metales pesados

El término metales pesados es utilizado al referenciarse a un determinado número de metales con un número atómico mayor a veinte y una densidad superior a 5 mg/cm^3 siendo denominados también como tóxicos o traza debido a que son peligrosos en concentraciones elevadas, pero también esenciales en animales y plantas, entre ellos los más conocidos son el arsénico (As), Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Cobalto (Co), Mercurio (Hg), plomo (Pb), manganeso (Mn), Níquel (Ni), Selenio (Se) y Zinc (Zn), de los cuales algunos son denominados como metaloides debido algunas propiedades como el arsénico y el selenio, por otro lado también se encuentra los oligoelementos o traza que son aquellos presentes en el organismo en concentraciones menores a 100 mg/Kg . Estos metales, están presentes en elevadas concentraciones en la sociedad generando repercusiones en la salud debido a su propensión a acumularse en los organismos a lo largo del tiempo (Baez et al., 2022, p. 30). Además de ello se puede clasificar como “metales pesados” a aquellos metales cuyo peso atómico sea mayor al del hierro ($55,85 \text{ g/mol}$), como el V ($50,95$); Mn ($54,44$); Cr ($52,01$), así como a otros elementos que no son propiamente metales como el As,

F y P. En este contexto, es más preciso referirse a la contaminación como “contaminación por elementos traza”, aunque se reconoce que la mayoría de los contaminantes inorgánicos son comúnmente denominados “metales pesados”. Es importante señalar que, en ocasiones, la contaminación del suelo puede originarse también por concentraciones elevadas de elementos mayoritarios como Na, Fe y Al (Galán y Romero, 2008, p. 49).

2.4 Bases legales

2.4.1 Acuerdo ministerial 097A

El registro oficial del Ministerio de Ambiente N° 387, establece los criterios de calidad del suelo los cuales se presentan a continuación:

Tabla 2-2: Parámetros generales de criterios de calidad del suelo.

Parámetros generales		
Parámetro	Unidades*	Valor
Conductividad	uS/cm	200
pH		6 a 8

Fuente: Ministerio del Ambiente, 2015, p. 34.

Realizado por: Astudillo, C., Herrera, P. 2024.

Tabla 2-3: Parámetros inorgánicos de criterios de calidad del suelo.

Parámetros inorgánicos		
Cadmio	mg/Kg	0,5
Plomo	mg/Kg	19

Fuente: Ministerio del Ambiente, 2015, p. 35.

Realizado por: Astudillo, C., Herrera, P. 2024.

2.4.2 Límite máximo permisible de metales pesados en plantas

La Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos (EPA) alberga una base de datos que incluye cerca de 25000 registros sobre la absorción de 21 metales por las plantas, entre los cuales se destacan el cadmio (Cd) y el plomo (Pb) (Kabata-Pendias y Pendias, 2001, p. 38). Por otro lado, la Organización Mundial de la Salud (OMS) establece límites máximos permisibles para la presencia de estos metales en la materia vegetal (Muñoz, 2009, p. 17).

Tabla 2-4: Parámetros inorgánicos de criterios de calidad del forraje (grano de cereal, hierba y materia vegetal).

Parámetros inorgánicos			
Planta	Unidad	Cd	Pb
Hierba (EPA)	mg/Kg	0,12	0,89
Material vegetal (OMS)	mg/Kg	0,30	10

Fuente: Kabata-Pendias y Pendias, 2001, p. 39; Muñoz, 2009, p. 17.

Realizado por: Astudillo, C., Herrera, P. 2024.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de Investigación

El tipo de investigación llevada a cabo en este estudio es de naturaleza cuantitativa. Se recopilarán y analizarán datos numéricos utilizando estadísticas para comprender relaciones y patrones en la presencia de cadmio (Cd) y plomo (Pb) en los cantones Colta, Penipe y Riobamba. Esto se logrará mediante el empleo de equipos como ICP-MS, fotómetro de llama, potenciómetro y analizador elemental. Además, el objetivo de investigación se clasifica como aplicado, donde el conocimiento teórico y experimental se demostrará mediante métodos de caracterización y cuantificación de suelos y forrajes para determinar la presencia de metales pesados en dichos cantones. En cuanto al nivel de profundización en el objeto de estudio, este se considera explicativo, ya que busca corroborar si la concentración de Cd y Pb en suelo y forraje de Colta, Penipe y Riobamba supera los límites permisibles por las entidades reguladoras, debido a las fuentes geogénicas y antropogénicas. La manipulación de variables se clasifica como preexperimental, ya que, si bien no se realiza una manipulación directa de las variables, la concentración de Cd y Pb en suelo y forraje puede variar dependiendo de la ubicación geográfica respecto a los cantones mencionados. Además, el tipo de inferencia se define como deductiva, pues se basa en teorías establecidas para realizar la determinación de metales pesados y obtener conclusiones que confirmen la hipótesis sobre la concentración de Cd y Pb en suelo y forraje de los cantones en estudio. Por último, el periodo temporal adoptado es de tipo trasversal, ya que se realizará la toma de muestras en un tiempo determinado para cuantificar la presencia de metales pesados sin esperar nuevos fenómenos, como una erupción volcánica.

3.2 Diseño de la investigación

En el presente trabajo se empleará un diseño de tipo descriptiva comparativa, la cual permitirá recopilar datos relevantes y comparar las concentraciones de Cd y Pb en suelo y forraje en los cantones Colta, Penipe y Riobamba, lo que ayudará a comprender mejor la contaminación por metales pesados en estas áreas y sus posibles implicaciones para la salud y el medio ambiente.

3.2.1 *Identificación de Variables*

3.2.1.1 Variable dependiente

- Concentración de Cd y Pb ppm.

3.2.1.2 Variable independiente

- Suelo y forraje g.

3.2.2 Planteamiento de la hipótesis

3.2.2.1 Hipótesis general

La concentración de Cd y Pb presentes en suelo y forraje de los cantones Colta, Penipe y Riobamba superan los límites permisibles por las entidades reguladoras.

3.2.2.2 Hipótesis específica

- La ubicación geográfica, antecedentes volcánicos son los principales influyentes en las concentraciones de cadmio y plomo presente.
- El suelo y forraje cumplen con las características físicas, fisicoquímicas y químicas según el acuerdo ministerial 097 A.
- El suelo presenta una mayor concentración de cadmio y plomo que el forraje.

3.2.3 Operacionalización de variables

3.2.3.1 Variable dependiente

Tabla 3-1: Operacionalización de variable dependiente: Concentración de Cd y Pb.

Conceptualización	Dimensión	Categorías	Indicadores	Métodos Técnicas/Instrumentos
Metales Pesados: Los metales pesados son elementos químicos que tienen una densidad relativamente alta en comparación con otros elementos. Este término se utiliza comúnmente para referirse a metales con pesos atómicos mayores que el hierro. Algunos ejemplos de metales pesados incluyen el mercurio, el plomo, el cadmio, el cromo, el arsénico y el zinc, entre otros.	Metales Pesados	Plomo	ppm	Digestión asistida por microondas/ ICP-MS
		Cadmio	ppm	Digestión asistida por microondas/ ICP-MS

Realizado por: Astudillo, C., Herrera, P. 2024.

3.2.3.2 Variable independiente

Tabla 3-2: Operacionalización de variable independiente: Suelo y forraje.

Conceptualización	Dimensión	Categorías	Subcategorías	Indicadores	Métodos/ Técnicas/Instrumentos
	Suelo		Textura	Arcillosa Arcillo limosa Arcillo arenosa	Probeta 1000 ml, densímetro, termómetro digital

<p>Suelo: Es un medio para el crecimiento de las plantas, considerandos complejos sistemas ecológicos en lo que interactúan elementos minerales y orgánicos, agua, aire y gases, en armonía con una extensa comunidad de organismos vivos.</p>		Características físicas		Franco Arcillosa Franco arcillo limosa Franco arcillo arenosa Franca Franco arenoso Areno francoso Arenosa Franco limosa Limosa	
			Densidad aparente	g/cm ³	Probeta 25 ml
			Densidad real	g/cm ³	Balón de aforo 50 ml
		Intercambio catiónico		meq/100g	Bomba de vacío, bureta 50mL, Kitasato 250 ml
		Características químicas	pH		Potenciómetro
			Conductividad	us/cm	Potenciómetro
		Cloruros		mg/Kg	Bomba de vacío, bureta 50 ml, Kitasato 250 ml

		Aniones	Nitratos	mg/Kg	HACH	
			Sulfatos	mg/Kg	HACH	
			Fosfatos	mg/Kg	HACH	
		Fósforo		mg/Kg	Espectrofotometría Ultravioleta Visible (UV-Vis)	
		Análisis proximal	Carbono	%	Dumas/ Analizador elemental	
			Nitrógeno	%	Dumas/ Analizador elemental	
			Humedad	%	Estufa	
			Materia Orgánica	%	Mufla	
		Cationes	Sodio	mg/Kg	Espectrometría de Absorción Atómica - Llama	
			Potasio	mg/Kg	Espectrometría de Absorción Atómica - Llama	
			Magnesio	mg/Kg	Espectrometría de Absorción Atómica - Llama	
			Calcio	mg/Kg	Espectrometría de Absorción Atómica - Llama	
		Forraje	Características químicas	pH		Potenciómetro
				Conductividad	us/cm	Potenciómetro

<p>Forraje: Se denomina así a las hierbas, pastos verdes o secos, también algunas especies vegetales de consumo humano como maíz, caña de azúcar, entre otros que se emplean para alimentar los animales domésticos especialmente el ganado; es decir es todo aquello que sea cosechado para ser suministrado como alimento a los animales bien sea verde, seco o procesado.</p>		Análisis proximal	Humedad	%	Estufa
			Materia Orgánica	%	Mufla
			Carbono	%	Dumas/ Analizador elemental
			Nitrógeno	%	Dumas/ Analizador elemental

Realizado por: Astudillo, C., Herrera, P. 2024.

3.2.4 Localización de estudio

La investigación propuesta se llevará a cabo en Ecuador, específicamente en la provincia de Chimborazo, las muestras serán recolectadas de los cantones Colta, Penipe y Riobamba. El proyecto se realizará en la ciudad de Riobamba, en el laboratorio de impactos ambientales de la facultad de ciencias, en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), la cual se encuentra ubicada en la panamericana sur km 11/2 vía a la costa.

3.2.4.1 Cantón Colta

El cantón Colta presenta una extensión de 850 Km² y se encuentra a 18 Km de la ciudad de Riobamba en la parte noroccidental de la provincia de Chimborazo a 2750 a 3280 m.s.n.m. Las muestras serán tomadas en 2 puntos; el primero en 1°40'40.4"S 78°45'36.0"W y el segundo en 1°40'36.3"S 78°44'57.6"W (GADM, Colta 2018).



Ilustración 3-1: Cantón Colta, Punto 1, Punto 2 de recolección de muestras.

Fuente: GADM Colta, 2018; Google Earth, 2024.

3.2.4.2 Cantón Penipe

El cantón Penipe presenta una superficie de 386 Km² y se encuentra a 22 Km de la ciudad de Riobamba en la parte noroeste de la provincia de Chimborazo a 2488 m.s.n.m. Las muestras serán tomadas en 2 puntos; el primero en 1°32'27.5"S 78°31'54.2"W y el segundo en 1°32'04.7"S 78°31'42.1"W (GADM Penipe, 2016).



Ilustración 3-2: Cantón Penipe, Punto 1, Punto 2 de recolección de muestras.

Fuente: GADM Penipe, 2016; Google Earth, 2024.

3.2.4.3 Cantón Riobamba

El cantón Riobamba presenta una extensión de 5637 Km² y se encuentra a 196 Km de la ciudad de Quito en el centro del país, siendo la ciudad de Riobamba la capital de la provincia de Chimborazo a 2754 m.s.n.m. Las muestras serán tomadas en 2 puntos; el primero en 1°38'09.7"S 78°45'53.7"W y el segundo en 1°37'01.6"S 78°47'22.2"W (GADM Riobamba, 2023).



Ilustración 3-3: Cantón Riobamba, Punto 1, Punto 2 de recolección de muestras.

Fuente: GADM Riobamba, 2023; Google Earth, 2024.

3.2.5 Población de estudio

La población de estudio se dé limita a los cantones Colta, Penipe y Riobamba, principalmente al sector ganadero, de los cuales se tomaron dos áreas de aproximadamente de una hectárea cada uno, de cada área se tomó 2 Kg de suelo, 0,60 Kg de forraje de 4 puntos en forma de cuadrado, muestra que posteriormente fue homogenizada, dando un total de 12 Kg de suelo y 3,6 Kg de forraje. Los ensayos se realizarán en el laboratorio de impactos ambientales de la ESPOCH, facultad de ciencias, con la guía del director y asesor de tesis, técnico de laboratorio e investigadores tesistas.

3.2.6 *Tamaño de la muestra*

Para la parte experimental el tamaño de muestra corresponderá a 4 Kg de suelo aproximadamente por cantón, es decir 12 Kg en total; de forraje se tomará 1,2 Kg aproximadamente por cantón, es decir 3,6 Kg en total, los cuales corresponden al cantón Colta, Penipe y Riobamba, por ende, el número de muestras y experimentos va a ser finito con la mayor homogeneidad de su población.

3.2.7 *Método de muestreo*

El método de muestreo que se empleara en la investigación es de tipo no probabilístico dependiendo del juicio del investigador, ya que la concentración de metales pesados medidos en el suelo y forraje serán tomados de diferentes puntos geográficos del cantón Colta, Penipe y Riobamba.

3.2.8 *Técnica de recolección de datos*

La investigación será desarrollada en base a encuestas y lecturas de antecedentes respecto a la predisposición de metales pesados en los cantones Colta, Penipe y Riobamba.

Para la recolección de muestras esta se desarrolla en los cantones mencionados, con muestras compuestas, las cuales fueron tomadas por el método aleatorio simple. En el caso del suelo consiste en: tomar de 100 – 200 g de suelo en cuatro puntos formando un cuadrado, removiendo la superficie de hierba y cavando a una profundidad de 30 cm, con el fin de evitar raíces presentes, posteriormente las muestras de suelo se homogeneizaran para su posterior análisis, de igual forma se recolectaran las muestras vegetales que constituyen el forraje en los mismos puntos en los que se recolectaron los suelos, para posteriormente ser secados y homogeneizados mediante un molino manual. Los análisis de elementos (metales pesados, micro y macronutrientes), el análisis físico, fisicoquímico y químico de las muestras serán recolectados y presentados en una hoja de cálculo de Microsoft Excel y SPSS.

Las técnicas analíticas que se llevan a cabo es ICP-MS que consiste en espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente con el cual se puede medir en ppb la concentración de los metales pesados presentes.



Ilustración 3-4: Recolección de muestras de Forraje y suelo

3.2.9 *Análisis estadístico inferencial*

Para el análisis estadístico inferencial será llevado a cabo el estudio de proyectos de investigación con un diseño experimental adecuado respecto a las variables, factores y niveles a estudiar, teniendo en cuenta que las variables presentadas serán utilizadas para obtener la relación de datos utilizando la media. Los resultados de las diversas muestras fueron sometidos a análisis estadístico utilizando el software SPSS. Se llevaron a cabo pruebas estadísticas, incluyendo el análisis de varianza ANOVA, para evaluar si existían diferencias significativas entre las medias de cada punto de muestreo para una variable o tratamiento específico. Además, se utilizó la prueba de rango post hoc para identificar grupos homogéneos de medias que no mostraban diferencias significativas entre sí. Estos grupos se identificaron mediante letras (a, b, c..). Finalmente, se aplicó la prueba de Tukey-b para realizar comparaciones entre pares de tratamientos o variables.

3.3 Técnicas y métodos

3.3.1 *Revisión ambiental inicial*

3.3.1.1 *Identificación de los puntos de control ambiental*

Para la identificación de los puntos de control ambiental se realizó un reconocimiento de los factores ambientales que generan afecciones a la localidad ya sean geogénicos o antropogénicos por medio de revisión bibliográfica para conocer los antecedentes de estos, además de ello se realizaron pláticas con los habitantes de las zonas cercanas para destacar y evaluarlos, lo cual facilita la comparación de los posibles factores de afección, tal como son el área industrial presente en Chimborazo, las emisiones de ceniza volcánica, entre otros (Hernández, 2008, p. 10-11).

3.3.1.2 Descripción del ambiente abiótico, biótico y socioeconómico

Medio abiótico: hace referencia a los recursos como agua, suelo o aire. En el presente estudio se realizó una serie de análisis para determinar su calidad, la cual se comparó con las normas actuales tanto nacionales como internacionales. La condición en la que se encuentren estos recursos se encuentra estrechamente relacionada con las actividades que se desarrollan en las áreas afectadas, donde se establece que una calidad adecuada es cuando no supera los límites máximos permisibles por las entidades reguladoras y una calidad deficiente cuando los supera, el cual se considera como daño ambiental y dichos recursos se encuentran afectados.

Medio biótico: indica la diversidad de flora y fauna presente en el área afectada. Se realizó una revisión bibliográfica detallada de estudios previos en los cantones de Colta, Penipe y Riobamba, utilizando información que se encuentra planteada en los planes de desarrollo y ordenamiento territorial de cada cantón presente, donde se recopiló información de la biodiversidad presente en cada cantón y se clasificó en una tabla que detalla la especie y nombres comunes de la biota local de cada cantón.

Medio socioeconómico: establece una relación entre las principales características demográficas, geográficas y áreas de influencia directa o indirecta para poder evaluar los cantones Colta, Penipe y Riobamba, esto se realizó por medio de análisis de bases de datos obtenidos del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de cada uno de los cantones, para determinar si la población es activa económicamente.

3.3.1.3 Determinación del área de influencia

La determinación del área de influencia directa e indirecta se realizó en consideración a los impactos ambientales y la zona en específico, posterior a la identificación de las afecciones presentes, datos recolectados de los GAD Municipales de los cantones Colta, Penipe y Riobamba, junto con revisión bibliográfica en base al Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional.

3.3.2 Levantamiento de información mediante encuestas

Se implementó encuestas las cuales fueron dirigidas a los habitantes de los cantones de Colta, Penipe y Riobamba de la provincia de Chimborazo, dichas encuestas se realizaron de manera

domiciliaria y en la feria de ganado de los respectivos cantones, de tal forma que se recopilaron un total de 90 encuestas, divididas en 30 por cantón.



Ilustración 3-5: Levantamiento de información mediante encuestas.

La presente encuesta se encontraba constituida de 19 preguntas entre 9 cerradas con dos o más alternativas para escoger y 10 semiabiertas, las cuales permitían al encuestado escribir otra respuesta que no se encuentre dentro de la misma. La encuesta se conformó por 4 secciones, la primera estaba dirigida al factor socio económico, la segunda al sector lechero, el tercero a los residuos del sector lechero y el último a los pesticidas. Las preguntas plasmadas en la encuesta se relacionan con el enfoque de la presente investigación.

3.3.3 Preparación de las muestras

Las muestras de suelo experimentaron un pretratamiento, donde se realizó un secado de estas al aire libre y posteriormente con ayuda de una estufa a 60 ° C durante 24 horas. Al finalizar el tiempo con ayuda de un mortero se trituro la muestra y se homogenizo la misma con un tamiz de 2 mm, obteniendo así el suelo de menor diámetro, descartando a su vez piedras y cascajos. Finalmente se guardó en una bolsa ziploc para su posterior análisis.

El forraje recibió un pretratamiento similar, el cual se secó al aire libre y posteriormente se llevó a una estufa a 60 ° C durante 24 horas. Una vez transcurrido el tiempo se llevó a un molino manual donde trituro la muestra, más adelante se llevó a un procesador de alimentos, donde se obtuvo una muestra más homogénea y de menor tamaño. Finalmente se guardó en una bolsa ziploc para su posterior análisis.



Ilustración 3-6: Preparación de las muestras de suelo y forraje.

3.3.4 *Análisis fisicoquímico y físico del suelo*

3.3.4.1 *Determinación de pH*

Para determinar el pH en el suelo se calibró el equipo utilizando soluciones buffer de pH 4, 7 y 10. Una vez calibrado el equipo, se pesaron 5,0 g de la muestra de suelo utilizando una balanza analítica precisa. Estas muestras se colocaron en tubos de centrifuga. Luego, se agregaron 50,0 ml de agua destilada a cada muestra y se agitaron durante 2 horas. Después, las muestras se centrifugaron a 2000 rpm durante 10 minutos para sedimentar cualquier sólido presente. Una vez sedimentada la muestra, se midió el pH en el extracto acuoso. Entre cada medición se llevó a cabo un lavado del bulbo medidor y la sonda de temperatura con agua destilada.



Ilustración 3-7: Determinación de pH y conductividad de suelo.

3.3.4.2 *Determinación de conductividad eléctrica (CE)*

Para determinar la conductividad eléctrica en el suelo se empleó un multiparámetro debidamente calibrado con una solución estándar de KCl 0,01 N. Inicialmente, se pesaron 5,0 g de muestra de suelo utilizando una balanza analítica. Estas muestras se colocaron en tubos de centrifuga, a los cuales se les añadieron 40 ml de agua destilada. Posteriormente, se agitaron durante 2 horas. Después de la agitación, las muestras se centrifugaron a 2000 rpm durante 10 minutos para sedimentar cualquier sólido presente. Una vez sedimentada la muestra, se midió la conductividad eléctrica directamente en el sobrenadante del tubo de centrifugado utilizando el multiparámetro calibrado. Posteriormente, se enjuago cuidadosamente el bulbo medidor y se registraron los datos obtenidos.

3.3.4.3 *Determinación de materia orgánica (MO)*

La materia orgánica en el suelo se determinó a través del método de calcinación de la muestra, para lo cual se utilizó un crisol previamente tarado, el cual se colocó en la estufa a 105 ° C durante 24 horas y después en el desecador hasta que alcance la temperatura ambiente. Posteriormente se pesó el crisol y se anotó el mismo. Luego, se pesó en este 5,0 g de muestra de suelo y se colocó en la estufa a 105 ° C durante 2 horas, transcurrido el tiempo, el crisol se coloca en un desecador hasta alcanzar la temperatura ambiente, posteriormente se colocó en la mufla a 430 ° C durante 24 horas, al finalizar se colocó el crisol nuevamente en el desecador hasta alcanzar la temperatura ambiente. Finalmente, se pesó el crisol con la muestra calcinada y se anotó el mismo. Para determinar el porcentaje de MO se empleó la siguiente formula:

$$\%MO = \frac{(\text{peso crisol} + \text{muestra seca}) - (\text{peso crisol} + \text{muestra calcinada})}{(\text{peso crisol} + \text{muestra seca}) - (\text{peso crisol vacío})} * 100$$



Ilustración 3-8:
Determinación de materia orgánica del suelo.

3.3.4.4 Determinación de la densidad aparente (D_a)

La densidad aparente se determinó al pesar una probeta de 25 ml en una balanza analítica, una vez pesada, se encero la misma y se colocó la muestra de suelo seca, sin dejar espacios de aire y sin aplicar presión para evitar la compresión de la muestra, de manera que se llene uniformemente hasta completar el volumen. Finalmente, se volvió a pesar para registrar la masa total de la probeta con la muestra de suelo. Para calcular la D_a se empleó la siguiente formula:

$$D_a = \frac{g}{ml} = \frac{\text{Peso del suelo}}{\text{volumen ocupado}}$$



Ilustración 3-9:
Determinación de densidad aparente del suelo.

3.3.4.5 Determinación de la densidad real (D_r)

La densidad real se determinó pesando un balón de aforo de 50 ml en una balanza analítica, se registró el peso del balón vacío (P_1). Con ayuda de un embudo se colocó 10,0 g de muestra de suelo seca en el balón de aforo, posteriormente se registró el peso (P_2). La suma del balón + muestra obtenemos P_3 ($P_1 + P_2 = P_3$). Se lavó cuidadosamente las paredes del balón de aforo que contengan restos de muestra hasta completar el volumen de este, posteriormente se deja reposar 30 minutos, al finalizar el tiempo se volvió a pesar el balón de aforo con la muestra y agua (P_4). Finalmente, se lavó el balón de aforo, se aforo el mismo y se registró el peso (P_5). Para calcular la D_r se empleó la siguiente formula:

$$\rho_{real} = \left(\frac{(P_3 - P_1)}{((P_5 - P_1) - (P_4 - P_2))} \right)$$



Ilustración 3-10: Determinación de densidad real del suelo.

3.3.4.6 Determinación de la textura

La textura se determinó con ayuda de una balanza analítica al pesar 100,0 g de suelo en un vaso de precipitación, en el cual se colocó 10 ml de solución dispersante y 200 ml de agua destilada, se agitó hasta obtener una mezcla homogénea y se dejó reposar por 24 horas. Al finalizar el tiempo se trasvasó todo el contenido del vaso de precipitación con ayuda de una varilla de agitación y una piseta a una probeta de 1000 ml, se agregó agua destilada hasta los 800 ml y se colocó el densímetro dentro de la probeta, con ayuda de una piseta se completó el volumen de la probeta, una vez completo el volumen se retiró el densímetro. Se cubrió con Parafilm y con la palma de la mano la boca de la probeta, evitando así la caída de muestra al momento de agitar vigorosamente esta, de tal manera que al agitar la muestra no quede pegada en la base y paredes de esta. Con ayuda de un cronómetro tomaremos el tiempo de 40 segundos una vez la probeta se coloque en la superficie, al finalizar el tiempo se registra los primeros datos de temperatura y del densímetro. Se dejó reposar por 2 horas, una vez transcurrido este tiempo se realizó una segunda toma de datos con el termómetro y densímetro. Para calcular la textura se aplicó la siguiente fórmula:

$$\%Arena = 100 - \left(\frac{\text{Primera lectura corregida del densímetro}}{\text{gramos de muestra}} \right) * 100$$

$$\%Arcilla = \left(\frac{\text{Segunda lectura corregida del densímetro}}{\text{gramos de muestra}} \right) * 100$$

$$\%Limo = 100 - (\%Arena + \%Arcilla)$$



Ilustración 3-11: Determinación de textura del suelo

Con ayuda de la ilustración 3-12 se trazó líneas en los respectivos porcentajes de arena, limo y arcilla obtenidos, en el punto donde las líneas se crucen corresponderá a la textura del suelo.

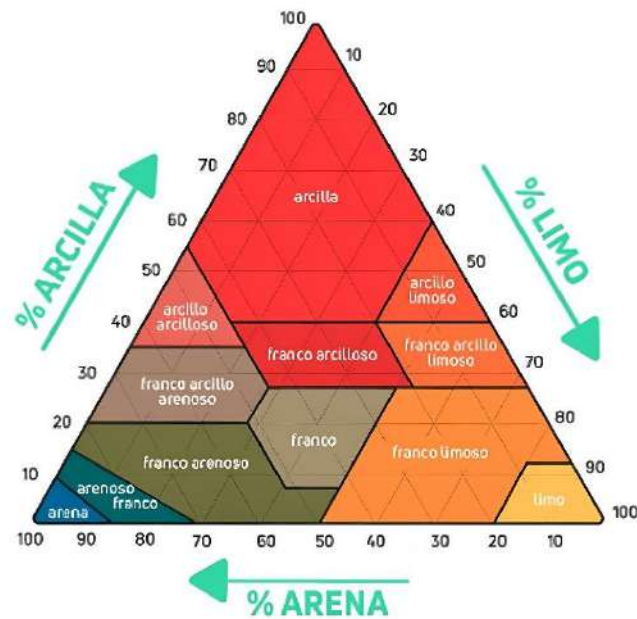


Ilustración 3-12: Triángulo de la textura del suelo.

Fuente: Chuquín et al., 2023, p. 31

3.3.5 *Análisis de macronutrientes del suelo*

3.3.5.1 *Determinación de potasio (K)*

A partir de la digestión asistida por microondas de las muestras de suelo se determinó el K. se utilizó un fotómetro de llama el cual se calibro previamente con las soluciones estándar de los respectivos metales, en este caso K, se ajustó la sensibilidad y la concentración del equipo, antes de colocar la muestra se utilizó agua destilada en el mismo y posteriormente se coloca la muestra en el equipo, finalmente el equipo mostrara un valor en la pantalla, el cual anotamos. Si el valor obtenido supera la concentración establecida inicialmente se debe realizar una dilución 1/10 y volver a medir.



Ilustración 3-13:
Determinación del potasio por el fotómetro de llama en suelo.

3.3.5.2 *Determinación de fósforo (P)*

El fósforo total se determina mediante la toma de 5 ml a partir de la digestión ácida del suelo, con ayuda de ácido nítrico y una solución de hidróxido de sodio se lleva la muestra a un pH entre 3 a 3,5; una vez estabilizado es aforada la solución a 25 ml. Se realizó la curva de calibración tomando un volumen de 0,2; 0,8; 1,6; 3 y 4 ml de la concentración inicial y se afora a 50 ml. Se tomó 5 ml de la solución inicial, 5 ml de la solución estándar y 5 ml de la solución de color para fósforo, posteriormente se esperan 15 minutos a que reaccione la reacción. Finalmente es calibrado y preparado el espectrofotómetro a 880 nm con el cual se midieron las lecturas correspondientes



Ilustración 3-14: Determinación de fósforo por el espectrofotómetro UV-Visible en suelo.

3.3.5.3 *Determinación de carbono (C), nitrógeno (N) y relación C/N*

El carbono, nitrógeno y la relación C/N se determinó con las muestra seca y homogenizada del suelo, en la cual se pesó 1,0 μg de muestra en una celda de estaño con ayuda de una micro balanza, se colocó los estándares y se realizó la calibración del analizador elemental por el método Dumas, donde se colocó las canastas de estaño comprimidas con la muestra en el carril, posteriormente se enumera y se agrega el peso de cada muestra en el equipo para iniciar el proceso.

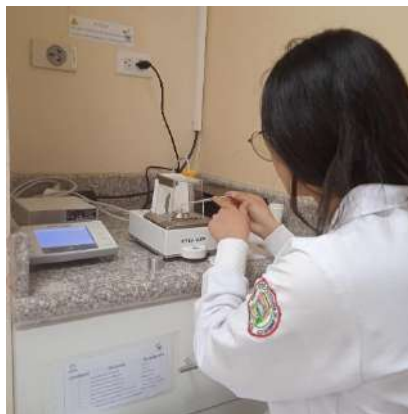


Ilustración 3-15: Determinación de carbono y nitrógeno en suelo por el analizador elemental Dumas.

3.3.6 *Análisis fisicoquímico del forraje*

3.3.6.1 *Determinación de materia orgánica (MO)*

La materia orgánica se determinó por el método de calcinación, inicialmente se pesó un crisol vacío previamente tarado en la estufa a 105 ° C durante 24 horas y colocado en el desecador hasta alcanzar temperatura ambiente. Posteriormente, se pesó el 5,0 g de muestra de forraje en el crisol. El crisol se colocó en la estufa a 105 ° C por 2 horas para eliminar la humedad presente, después se colocó en la mufla por 24 horas, una vez transcurrido el tiempo se coloca en un desecador hasta alcanzar temperatura ambiente y se registra el peso obtenido. Para calcular la MO se emplea la siguiente formula:

$$\%MO = \left(\frac{(\text{peso crisol} + \text{muestra seca}) - (\text{peso crisol} + \text{muestra calcinada})}{(\text{peso crisol} + \text{muestra seca}) - (\text{peso crisol vacío})} \right) * 100$$



Ilustración 3-16:
Determinación de materia orgánica en forraje.

3.3.7 *Análisis de nutrientes del forraje*

3.3.7.1 *Determinación de Nitratos*

Los nitratos se determinaron pesando en una balanza analítica 5,0 g de muestra de forraje en un tubo para centrifuga, en el cual se añadió 50 ml de agua destilada, posteriormente se llevó a agitar durante 2 horas, una vez agitado se llevó a centrifugar por 5 minutos a 1000 rpm para facilitar la filtración con un papel filtro de 0,45 µm de porosidad. Una vez listo el extracto se colocó en la

celda del espectrómetro HACH DR2800 y se seleccionó el método 855, Nitratos RAPP para nitratos en el equipo, se debe encerar el mismo al presionar “CERO”, una vez encerado se añadió el reactivo NitraVer5 y se agitó hasta que se diluya en la muestra. Al terminar el tiempo de reacción se colocó la celda en el equipo y se presionó “MEDIR”, finalmente, el equipo proporcionara la cantidad de nitratos presentes en la muestra.



Ilustración 3-17:
Determinación de nitratos,
sulfatos y fosfatos de forraje.

3.3.7.2 *Determinación de Fosfatos*

Los fosfatos se determinaron pesando en una balanza analítica 5,0 g de muestra de forraje en un tubo para centrifuga y añadiendo 50 ml de agua destilada, posteriormente se llevó a agitar durante 2 horas, una vez agitado se llevó a centrifugar durante 5 minutos a 1000 rpm para facilitar la filtración con un papel filtro de 0,45 μm de porosidad. Una vez listo el extracto se colocó en la celda del espectrómetro HACH DR2800 y seleccionar el método 680 Fosfatos en el equipo, encerar el mismo al presionar “CERO”; una vez encerado se debe añadir el reactivo PhosVer3 y agitar hasta que se diluya en la muestra y esperar a que termine de reaccionar. Al finalizar la reacción se colocó la celda en el quipo y se presionó “MEDIR”, finalmente, el equipo proporcionara la cantidad de fosfatos presentes en la muestra.

3.3.7.3 *Determinación de Sulfatos*

Los sulfatos se determinaron pesando en una balanza analítica 5,0 g de la muestra de forraje en un tubo de para centrifuga y se añadió 50 ml de agua destilada, posteriormente se llevó agitar

durante 2 horas, una vez agitado se llevó a la centrifuga a 1000 rpm por 5 min para facilitar la filtración se utilizó un papel filtro de 0,45µm de porosidad. Una vez listo el extracto se debe colocar en a la celda del espectrómetro HACH DR2800 y seleccionar el método para sulfatos en el quipo, encerar al presionar el botón “CERO”; una vez encerado se añadió el reactivo Sulfaver4 y se agito hasta que se diluya en la muestra y se esperó hasta que reaccione. Al finalizar la reacción se colocó la celda en el equipo y se presionó “MEDIR”, finalmente el equipo proporcionara la cantidad de sulfatos presentes en la muestra.

3.3.7.4 Determinación de Cloruros

Los cloruros se determinaron pesando en una balanza analítica 5,0 g de muestra del forraje en un tubo para centrifuga y se añadiendo 50 ml de agua destilada, posteriormente se agitó por 2 horas, una vez agitado se centrifugo por 4 minutos a 1000 rpm y se filtró al vacío. Del extracto obtenido se tomó 10 ml y se aforo a 100 ml, de esta solución se tomó 25 ml y se colocó en un Erlenmeyer en el cual se agregaron 4 gotas de indicador de cromato de potasio al 5 % y se tituló con una solución de nitrato de plata al 0,1 N hasta obtener un color ladrillo. Finalmente se midió el volumen consumido de nitrato de plata. Para calcular la concentración de cloruros se aplicó la siguiente formula:

$$Cl^{-} = \frac{mg}{L} = \frac{(A - B) * N * 35,45}{ml\ muestra} * 1000$$

A = ml valoración para la muestra

B = ml valoración para el blanco

N= Normalidad de nitrato de plata



Ilustración 3-18: Determinación de cloruros en suelo.

3.3.7.5 *Determinación de sodio (Na) y potasio (K)*

A partir de la digestión asistida por microondas de la muestra de forraje se determinó los macronutrientes como Na y K utilizando un fotómetro de llama, el cual previamente se calibró con soluciones estándar de los respectivos metales, en el equipo se ajustó la sensibilidad y la concentración. Antes de colocar la muestra se utilizó agua destilada en el equipo y después se colocó la muestra en el mismo, finalmente, en el equipo se observó un valor en la pantalla el cual debemos anotar, sin embargo, los valores obtenidos superaron la concentración establecida inicialmente por que se realizó una dilución 1/10 y se volvió a medir.



Ilustración 3-19:
Determinación de sodio y potasio por fotómetro de llama en forraje.

3.3.7.6 *Determinación de fósforo (P)*

El fósforo total se determina mediante la toma de 5 ml a partir de la digestión ácida del forraje, con ayuda de ácido nítrico y una solución de hidróxido de sodio se lleva la muestra a un pH entre 3 a 3,5; una vez estabilizado el pH, se afora la solución a 25 ml. Se realiza la curva de calibración tomando un volumen de 0,2; 0,8; 1,6; 3 y 4 ml de la concentración inicial y se afora a 50 ml. Se toma 5 ml de la solución inicial y 5 ml de cada estándar, además se adiciona 5 ml de la solución de color para fósforo y se deja reposar por 15 min a que reaccione, finalmente se calibró y preparó el espectrofotómetro a 880 nm, seguido se colocaron las muestras para la correspondiente lectura.



Ilustración 3-20: Determinación de fósforo en el forraje por espectrofotómetro UV-Visible.

3.3.7.7 *Determinación de carbono (C) y nitrógeno (N)*

El carbono y el nitrógeno se determinaron en el analizador elemental previamente calibrado mediante el método Dumas, en el cual se tomó la muestra seca y homogenizada de forraje y se pesó 0,7 µg de muestra con ayuda de una micro balanza. La muestra se colocó en celdas de estaño, a las celdas se las comprimo y colocó en carril del equipo, posteriormente se enumeró y se agregó el peso de cada muestra en el equipo para iniciar el proceso.



Ilustración 3-21: Determinación de carbono y nitrógeno en forraje por analizador elemental Dumas.

3.3.8 *Determinación de metales pesados por Espectroscopía de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS)*

3.3.8.1 *Digestión asistida por microondas de suelo y forraje*

En un tubo de politetrafluoroetileno se pesó 0,2 g de muestra (suelo o forraje), se añadió 2,5 ml de ácido nítrico (HNO_3), 2 ml de peróxido de hidrogeno (H_2O_2) y 7,5 ml de agua purificada, una vez colocado todos los reactivos se cerró el tubo y se procedió a colocar en el digestor por microondas, la digestión toma un tiempo de 45 minutos. Al finalizar el tiempo se deja reposar por 30 minutos hasta que se enfrié, una vez transcurrido este tiempo se filtró al vacío con ayuda de un papel filtro de 0,45 μm . Finalmente, el filtrado obtenido se aforo a 50 ml y almaceno en refrigeración.



Ilustración 3-22: Digestión asistida por microondas de suelo y forraje.

3.3.8.2 *Determinación de cadmio (Cd) y plomo (Pb)*

Para la determinación de cadmio y plomo en el equipo de ICP-MS se midió 1,0 ml de las digestiones realizadas anteriormente de las muestras de suelo o forraje, se añadió 0,1 ml del estándar interno de 500 ppb y 8,9 ml de agua purificada para su medición.

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Revisión ambiental inicial

4.1.1 Identificación de los puntos de control ambiental

Las diferentes poblaciones de la provincia de Chimborazo que se encuentran cerca al volcán Tungurahua y Sangay se han visto afectadas por su proceso eruptivo. Los cantones que resultaron afectados por este evento fue el cantón Penipe con una alta presencia de caída de ceniza, mientras que en el cantón Colta y Riobamba fue moderada (OMS, 2006; Instituto Geofísico, 2015).

Para el presente proyecto de investigación se tomaron 6 puntos en la provincia de Chimborazo en los cantones de Colta en el sector de Cajabamba, Penipe en el sector del Guzo y Riobamba en el sector de San Juan. La ubicación de los distintos puntos de control ambiental seleccionados se representó con ayuda del programa Google Earth Pro, los cuales se pueden apreciar en el siguiente gráfico.



Ilustración 4-1: Puntos de control y localización de estudio.

Realizado por: Astudillo, C., Herrera, P. 2024.

4.1.2 Descripción del ambiente abiótico

4.1.2.1 Calidad del agua de los cantones de Colta, Penipe y Riobamba

En los diferentes cantones estudiados la calidad del agua puede estar alterada e influenciada por diversos factores ambientales y climáticos, en este sentido tenemos que:

Cantón Colta: el agua procede de 2 cuencas que son del Guayas y Pastaza, de 2 subcuencas que son el Río Yaguachi y Chambo y de 30 microcuencas que suministran de agua al Cantón, en el mismo se considera que no existe un manejo ideal de las cuencas, subcuencas y microcuencas, debido a que no presenta acciones para un óptimo uso, aprovechamiento y conservación del agua (GADMC Colta, 2019, p. 15-17).

El agua para consumo lleva un tratamiento por cloración en las parroquias de Cajabamba, Columbe, Juan de Velasco, Santiago de Quito y Sicalpa, por otro lado, en Cañi no, sin embargo, se realiza una caracterización de los parámetros fisicoquímicos del agua para que sea apto para el consumo. A su vez el agua es utilizada por el sector agrícola para el riego, existiendo un déficit hídrico para satisfacer las necesidades de la población del cantón. La calidad de agua del cantón Colta se puede considerar como buena, sin embargo, se debe contemplar las diferentes afecciones a la misma por fuentes geogénicas como la caída de ceniza volcánica y antropogénicas como la presencia de industrias, agricultura y demás, repercutiendo en la salud de la población (GADMC Colta, 2019, p. 20-33).

Cantón Penipe: el agua procede de la cuenca del río Pastaza y de la subcuenca del río Chambo, el cual rodea toda la extensión del cantón, mientras que por el interior de este se encuentran microcuencas de los ríos Puela, Blanco y Badcahuan y drenajes menores del río Chambo, estas se consideran como vulnerables (ríos Puela y Blanco), totalmente vulnerables (río Badcahuan) y levemente vulnerables (drenajes menores del río Chambo), para los cuales se deben tomar medidas de recuperación, protección y rehabilitación (GADMC Penipe, 2016, p. 69-70).

En el agua para el consumo se lleva a cabo un tratamiento de cloración, sin embargo, solo el 9,30 % del sistema cumple con la normativa vigente por lo cual la calidad de agua del cantón Penipe es mala o regular, ya que dentro de la misma existe la presencia de microorganismos por la contaminación de residuos sólidos, aguas servidas y la presencia de ceniza volcánica, la cual lleva a afecciones de salud humana y animal (GADMC Penipe, 2016, p. 74-234).

Cantón Riobamba: este cantón se encuentre ubicado en la cuenca del río Pastaza y su subcuenca el río Chambo, esta última es de donde proviene el agua para el consumo humano, así misma es utilizada para el riego en conjunto con la subcuenca de río Yaguachi, siendo el cantón Riobamba el que consume mayor cantidad de agua en el sector agrícola (GADMC Riobamba, 2020, p. 75-86).

La calidad del agua presente en el cantón Riobamba se considera buena, ya que cuenta con 9 redes de distribución de agua potable que son observadas mensualmente para conocer su estado, también en las mismas se realiza una limpieza y mantenimiento de estas redes cada 2 años, sin embargo, se debe considerar que las cuencas y subcuencas pueden estar comprometidas a estar en un estado de contaminación por diversos factores como los geogénicos y antropogénicos (GADMC Riobamba, 2020, p. 77-78).

4.1.2.2 Calidad del suelo de los cantones de Colta, Penipe y Riobamba

En los cantones presentes la calidad del suelo puede verse alterada por diversos factores, por cual tenemos que en el:

Cantón Colta: el cantón presenta suelos que contienen en su composición principalmente ceniza volcánica, esto debido a los recientes acontecimientos, formando suelos negros, mullidos, pH ligeramente ácidos y fértiles, por otro lado, el suelo posee una cantidad de carbonato de calcio excesiva, lo que produce una reacción con los ácidos presentes, formando una reacción que aumenta la alcalinidad, la cual puede producir infertilidad en los mismos y presenta una textura franco-arenoso (GADMC Colta, 2019, p. 46-47).

En general la calidad del suelo es ideal para fines agropecuarios, sin embargo, existe erosión de los suelos por la explotación agrícola y avance de la frontera agrícola, a su vez se debe tomar en cuenta la composición de la ceniza volcánica y la actividad minera, donde los procesos de la meteorización están presentes, ya que puede liberar metales pesados en el suelo, esta ultimo también contribuye a la contaminación del agua. Por otro lado, los factores antropogénicos, como el uso de agroquímicos (GADMC Colta, 2019, p. 58-84).

Cantón Penipe: el suelo está compuesto por derivados de material volcánico perteneciente al grupo de los inceptisoles, cuya característica primordial es una elevada fertilidad, esta condición ha permitido que el suelo sea apto para la práctica y desarrollo de la agricultura y actividades pecuarias. Por otro lado, presenta ciertas condiciones que ha provocado la pérdida y

desintegración del suelo como las bajas temperaturas, erosión por vientos (GADMC Penipe, 2016, p. 15).

El suelo presenta una textura arenoso franco, esto debido a que se caracterizan por ser suelos de ceniza arenoso, arena media gruesa $> 0,5$ mm y < 2 mm, poseen $< 1\%$ de materia orgánica, pH neutro (7), también suelen tener la presencia de grava y piedra. Los resultados presentados muestran que la calidad del suelo es buena, sin embargo, como se menciona anteriormente la composición de la ceniza volcánica mediante el proceso de meteorización puede llegar a liberar minerales que benefician al suelo, pero también metales pesados que pueden afectar al mismo (GADMC Penipe, 2016, p. 16).

Cantón Riobamba: el suelo está dividido en distintos tipos, entre ellos se encuentra con un 34 % de inceptisol, 32 % entisol, 20 % molisol, 1 % histosol, 4 % inceptisol + entisol y 9 % no aplicable, los cuales poseen características diferentes las cuales benefician a las diversas actividades agropecuarias del cantón (GADMC Riobamba 2020, p. 62-68).

La calidad del suelo puede ser considerada como buena, sin embargo, el uso excesivo de agroquímicos que reduce la diversidad de las plantas y la constante ampliación de la frontera agrícola perjudica a los bosques y páramos del cantón, a su vez la presencia de ceniza volcánica en su composición puede liberar metales pesados producto de la meteorización y además de la presencia de diferentes industrias (GADMC Riobamba, 2020, p. 68-74).

4.1.2.3 Calidad del aire de los cantones de Colta, Penipe y Riobamba

Cantón Colta: la calidad del aire presente en este cantón se puede considerar no adecuada, debido a la presencia de mineras e industrias que ocasionan la liberación de material particulado, además la alta demanda de flujo vehicular y el uso de agroquímicos en el sector agropecuario provoca que los gases que son emanados por lo mencionado anteriormente aumente los niveles de contaminación en el aire, el mismo que se encarga de llevar a todo el cantón, afectando al suelo, agua y salud humana y animal (GADMC Colta, 2019, p. 58).

Cantón Penipe: la calidad del aire presente en el cantón no se considera la adecuada, esto debido a las diferentes erupciones volcánicas que han tenido lugar a lo largo de los años, causando afectaciones por el material particulado que presenta, también existen otros factores como la presencia de vehículos de combustión interna, incendios y el uso de agroquímicos, los cuales son

transportados por el aire afectando al suelo, agua y salud humana y animal (GADMC Penipe, 2016, p. 95).

Cantón Riobamba: la calidad del aire en este cantón no es la adecuada, sobre todo en la ciudad de Riobamba, debido a las industrias presentes como la cerámica que emana material particulado que supera los límites permisibles por la Norma Ecuatoriana de Calidad de Aire, también existe la presencia de gases como dióxido de azufre (SO₂) que es emanado por las mismas industrias, fuentes móviles y eventos volcánicos activos, dióxido de nitrógeno (NO₂) su presencia se debe principalmente al alto flujo vehicular y procesos industriales, ozono (O₃) por la alta demanda de circulación vehicular, el material particulado y gases se movilizan a través del aire afectando al suelo, agua y salud humana y animal (GADMC Riobamba, 2020, p. 54-59).

4.1.3 Descripción del ambiente biótico

4.1.3.1 Cantón Colta

Flora: la cobertura natural y vegetal está conformada por una gran diversidad de materia vegetal, la cual corresponde a 47293,93 ha, es decir el 57,57 % del cantón, el restante se considera como área antrópica. Este está conformado por cinco formaciones vegetales que presentan diferentes características en su fisonomía y composición florística, entre ellas tenemos al: paramo herbáceo (58,64 %), bosque húmedo (9,66 %), matorral húmedo (15,60 %), Vegetación herbácea de humedal (0,21 %) y vegetación herbácea húmeda (15,89 %). La cobertura vegetal se considera como un recurso natural fundamental, ya que facilita la obtención y suministro de agua, controla el clima, preserva la biodiversidad local y reduce la contaminación (GADMC Colta, 2019, p. 52-62).

De manera general, la vegetación autóctona se ve comprometida por factores externos los cuales están relacionados con el aumento de la frontera agrícola, uso de agroquímicos, actividad industrial, incendios entre otros. Aumentando la disminución de la cobertura vegetal de este (GADMC Colta, 2019, p. 62-70). En la tabla 4-1 se describe la cobertura vegetal presente en el cantón

Tabla 4-1: Cobertura vegetal del cantón Colta.

Zonas	Nombre común	Nombre Científico
	Paja Stipa	<i>Stipa ichu</i>
	Ochoguspe	<i>No se registra</i>
	Yagual	<i>Polylepis racemosa</i>

Páramo	Chuquiragua	<i>Chuquiraga jussieui</i>
	Lupina	<i>Lupinus sp.</i>
	Tilo	<i>Sambucus nigra</i>
	Quishuar	<i>Quishuar Buddleja incana</i>
	Cola de caballo	<i>Equisetum bogotenses</i>
	Sara	<i>No se registra</i>
	Sigse	<i>Cortaderia nítida</i>
	Guanto	<i>Datura arbórea</i>
	Flor de caumal	<i>No se registra</i>
Ríos y Quebradas	Chilca	<i>Baccharis latifolia</i>
	Sigse	<i>Costadeirara diumscola</i>
	Marco	<i>Ambrosia arborescens</i>
	Cabuya	<i>Agave filifera</i>
	Capuli	<i>Prunas capulí</i>
	Sayre	<i>No se registra</i>
	Muelán	<i>Muehlenbeckia thamnifolia</i>
	Berro	<i>Nasturtium officinale</i>
	Pencos	<i>No se registra</i>
	Caumal	<i>No se registra</i>
	Yanacachi	<i>No se registra</i>
	Menta	<i>Mentha piperita</i>
	Verbena	<i>Verbena lotalis</i>
	Alverjilla	<i>No se registra</i>
	Alguirder	<i>No se registra</i>
	Alfalfa	<i>Medicago sativa</i>
	Gramma	<i>Pennisetum clandestinum</i>
	Ortiga	<i>Urtica dioica</i>
	Trébol	<i>Trifolium repens</i>
	Aloflige	<i>No se registra</i>
	Hilapo	<i>No se registra</i>
	Trinitaria	<i>Otholobium mexicanum</i>
	Tipo	<i>Minthosta</i>
	Santa María	<i>Tanacetum parthenium</i>
	Tilo	<i>Sambucus nigra</i>

Producción	Sábila	<i>Aloe vera</i>
	Borraja	<i>Borago officina</i>
	Ruda	<i>Ruta graveolens</i>
	Linaza	<i>No se registra</i>
	Eucalipto	<i>Acacia melanoxylon</i>
	Pino	<i>Pinus radiata</i>
	Kikuyo	<i>Pennisetum clandestinum</i>
	Llantén	<i>Plantago major</i>
	Malva	<i>Lavatera arborea</i>
	Nabo	<i>Brassica canapula</i>
	Rábano amarillo	<i>Raphanus sativus</i>
	Ciprés	<i>Cupressus</i>
Bosque	Eucalipto	<i>Eucalyptus globulus</i>
	Pino	<i>Pinus radiata</i>
	Capulí	<i>Prunus capulí</i>
	Quishuar	<i>Buddleja incana</i>
	Yagual	<i>Polylepis racemosa</i>
	Aliso	<i>Alnus acuminata</i>
	Cedrón	<i>Aloysia triphylla</i>
	Taraxaco	<i>Taraxacum officinale</i>
	Llantén	<i>Plantago major</i>
	Cashamarucha	<i>No se registra</i>
	Paja	<i>Stipa Ichu</i>
	Guanto	<i>Datura arborea</i>
Trinitaria	<i>Otholobium mexicanum</i>	

Realizado por: Astudillo, C., Herrera, P. 2024.

Fuente: GADMC Colta, 2019, p. 74-77.

Fauna: el cantón presenta una diversidad de especies como mamíferos, aves, anfibios, reptiles y peces, esto debido por su variedad climática y su región geográfica. Sin embargo, ciertas especies se encuentran en peligro de extinción debido al inapropiado manejo de los ecosistemas, la deforestación, la expansión de la frontera agrícola y fuentes antropogénicas (GADMC Colta, 2019, p. 71-72).

Tabla 4-2: Fauna presente en el cantón Colta.

Nombre común	Nombre Científico
Conejos	<i>Silvylagus brasiliensis</i>
Ratón	<i>Caenolestes sp.</i>
Lobos	<i>Silvylagus brasiliensis</i>
Zorro	<i>Pseudalopex griseus</i>
Picaflor	<i>No se registra</i>
Huirachuro	<i>Pheucticus chrysopeplus</i>
Rucuman	<i>No se registra</i>
Gigui	<i>No se registra</i>
Yuto	<i>No se registra</i>
Muctiuru	<i>No se registra</i>
Tórtola	<i>Zenaida auriculata</i>
Venado	<i>Odocoileus virginianus</i>
Sapo común	<i>Bufo sp.</i>
Perdiz	<i>Alectoris sp.</i>
Chucurri	<i>Mustela frenata</i>
Lagartija	<i>Pholidobolus montium</i>
Raposa	<i>Marmosa robinsoni</i>
Pájaros	<i>No se registra</i>
Palomas	<i>No se registra</i>
Rana	<i>Perezi seoane</i>
Trucha	<i>Salmo trutta</i>
Zucos	<i>No se registra</i>
Mirlos	<i>Turdus chiguanco</i>
Colibrí	<i>Ensifera ensifera</i>
Picaflor	<i>No se registra</i>
Gavilán	<i>Buteo magnirostris</i>
Guarro	<i>Falco sparverius</i>
Pernil	<i>No se registra</i>

Realizado por: Astudillo, C., Herrera, P. 2024.

Fuente: GADMC Colta, 2019, p. 72-74.

4.1.3.2 Cantón Penipe

Flora: el cantón presenta en su vegetación nativa la presencia de bosques andinos (41,57 %), paramo (57,01 %) y vegetación arbustiva (1,42 %), a su vez un área del Parque Nacional Sangay forma parte del cantón, por lo cual posee una amplia diversidad, esto debido a sus características climáticas las cuales aportan a la existencia de seis ecosistemas naturales que son bosques siempreverde montano alto del norte de la Cordillera Oriental de los Andes, bosque siempre verde del páramo, arbustal siempreverde y herbazal del páramo, herbazal del páramo, herbazal húmedo montano alto superior del páramo y herbaza arbustal siempreverde subnivel del páramos. Por otro lado, la pérdida de los ecosistemas naturales presentes en el cantón se debe al aumento de la frontera agrícola y pecuaria, el pastoreo indiscriminado en los páramos, procesos eruptivos, deforestación y factores antropogénicos (GADMC Penipe, 2016, p. 53-59).

Tabla 4-3: Cobertura vegetal cantón Penipe.

Ecosistema	Nombre común	Nombre científico
Bosque siempreverde montano alto del Norte de la Cordillera Oriental de los Andes	Alchornea	<i>Alchornea grandiflora</i>
	Aliso	<i>Alnus acuminata</i>
	Rascadera	<i>Gunnera brephogea</i>
	Cafecillo	<i>Palicourea amethystin</i>
	Hoja de lanza	<i>Miconia theizans</i>
	Mbiyui caá	<i>Bocconia integrifolia,</i>
	Siempreviva	<i>W. pinnata</i>
	Encenillo	<i>Weinmannia glabra</i>
	Raque	<i>Vallea stipular</i>
	Cheflera	<i>Schefflera sodiro</i>
	Aguacatillo	<i>Ocotea rugosa</i>
	Manteco	<i>Myrsine andina,</i>
	Arrayán negro	<i>M. rhopaloides,</i>
	Arrayán	<i>Myrcianthes hallii</i>
	Motilón	<i>Hieronyma macrocarpa,</i>
	Guayusa	<i>H. luteynii,</i>
	Manzano colorado	<i>Guarea kunthiana</i>
	Turo aliso	<i>Freziera canescens</i>
	Helecho arbóreo	<i>Cyathea caracasana</i>
	Tulapo	<i>Clethra revoluta</i>
Cascarilla	<i>Cinchona pubescens</i>	
Palma de ramo	<i>Ceroxylon parvifrons</i>	

	Cedro	<i>Cedrela montana</i>
	Zapallo	<i>C. maxima</i>
	Guarumo blanco	<i>A. Cecropia andina,</i>
Bosque siempreverde del Páramo	Quishuar	<i>Buddleja incana,</i>
	Artos	<i>Rubus coriaceus.</i>
	Grano de nieve	<i>Luzula gigante</i>
	Geranio	<i>Geranium ayavacense</i>
	Encenillo	<i>Weinmannia fagaroides</i>
	Weberbaueri	<i>P. weberbaueri,</i>
	El humarí	<i>P. sericea</i>
	Mandarino	<i>P. reticulata</i>
	Helecho arroz	<i>P. microphylla</i>
	Aulaga	<i>P. lanuginosa,</i>
	Coloradito	<i>Polylepis incana</i>
	Pategallina	<i>Oreopanax andreanus</i>
	Manteco	<i>Myrsine andina</i>
	Boca de dragón	<i>B. pichinchensis</i>
	Membrillo	<i>Columellia oblonga</i>
	Tasta del Perú	<i>Escallonia myrtilloides</i>
	Gynoxys	<i>Gynoxys acostae</i>
	Cuatrec	<i>G. cuicochensis</i>
	Halii	<i>G. hallii</i>
Sacha manzano	<i>Hesperomeles ferruginea</i>	
Peperomia	<i>H. obtusifolia</i>	
Arbustal siempreverde y herbazal del Páramo		<i>Arcytophyllum vernicosum</i>
	Agracejo común	<i>Berberis grandiflora</i>
		<i>B. hallii</i>
	Choclo de oro	<i>B. lutea</i>
		<i>Diplostephium rupestre</i>
	La tasta del Perú	<i>Escallonia myrtilloides</i>
	Espino de páramo	<i>Hesperomeles obtusifolia</i>
	Cola de chivo	<i>Miconia salicifolia</i>
	Muchuy	<i>Monnina obtusifolia</i>
	Borrachera	<i>Pernettya prostrata</i>

	Pentacalia	<i>Pentacalia arbutifolia</i>
	Amor ciego	<i>P. andicola</i>
		<i>P. vaccinioides</i>
	Jancz	<i>Ribes andicola</i>
	Mortiño	<i>Vaccinium floribundum</i>
	Sanalotodo	<i>Tristerix longibracteatus</i>
Herbazal del Páramo	Kara shaqui ichu	<i>Agrostis breviculmis</i>
	Caña de plumas	<i>Calamagrostis intermedia</i>
	Chavelita	<i>C. recta</i>
	Pajonal	<i>C. effusa</i>
	Sandalia de la virgen	<i>Chrysactinium acaule</i>
	Coirón	<i>Festuca asplundii</i>
	Borriza americana	<i>Gnaphalium pensylvanicum</i>
	Perejil de páramo	<i>Oreomyrrhis andicola</i>
	Helecho macho	<i>Pteridium arachnoideum</i>
	Chagual	<i>Puya lanata</i>
		<i>P. eryngioides</i>
	Farolilla	<i>P.pygmaea</i>
	Pato bahía	<i>Paspalum tuberosum</i>
	Paja brava	<i>Stipa ichu</i>
Roble de tierra fría	<i>Viola humboldtii</i>	
Herbazal húmedo montano alto superior del Páramo	Romerillo	<i>Baccharis caespitosa</i>
	Caña de plumas	<i>Calamagrostis intermedia</i>
	Canastilla de plata	<i>Cerastium crassipes</i>
	Festuca de oveja	<i>Festuca sublimis</i>
	Grulla	<i>Geranium chimborazense</i>
	Chicoria blanca	<i>Hypochaeris sessiliflora</i>
		<i>Perezia pungens</i>
	Paja ichu	<i>Stipa ichu</i>
	Llantén	<i>Plantago australis</i>
	Romerillo	<i>P. linearis</i>
	Verbena rígida	<i>P. rigida</i>
Hierba de los gatos	<i>Valeriana rigida</i>	
	Nudosilla	<i>Arcytophyllum capitatum</i>

Herbazal y Arbustal siempreverde subnival del Páramo	Caña de palmas	<i>Calamagrostis intermedia</i>
	Flor de los andes	<i>Chuquiraga jussieui</i>
	Siempreviva	<i>Diplostephium rupestre</i>
	Jaramago	<i>Drabaaretoides</i>
	Portulaca	<i>D.depresa</i>
	Coirón	<i>Festuca asplundii</i>
	Genciana	<i>Gentiana sedifolia</i>
	Campanilla blanca de invierno	<i>Lachemilla nivlais</i>
	Tabachín	<i>L.vulcania</i>
	Jata	<i>Loricaria spp.</i>
	Moradita	<i>Luzula racemosa</i>
	Columbus oreja de elefante	<i>Poa cucullata</i>
	El calafate	<i>Valeriana microphylla</i>
	Cojín	<i>Xenophyllum humile</i>
	Vallico	<i>X.rigidum</i>
Acebo crenata	<i>A. crenata</i>	
Cojín	<i>Plantago rigida</i>	

Realizado por: Astudillo, C., Herrera, P. 2024.

Fuente: GADMC Penipe, 2016, p. 57-58.

Fauna: el cantón posee dos sectores que son el páramos y norte de la Cordillera Oriental de los Andes, así mismo las especies faunísticas se distribuyen en avifauna (aves), mastofauna (mamíferos), herpetofauna (anfibios y reptiles). Ciertas especies se encuentran en peligro debido a actividades antropogénicas como la caza, incendios, deforestación entre otros; también a factores geogénicos como las erupciones volcánicas (GADMC Penipe, 2016, p. 61-69).

Tabla 4-4: Avifauna presente en el cantón Penipe.

Familia	Nombre científico	Nombre común
Anatidae	<i>Merganetta armata</i>	Pato Torrentero
Anatidae	<i>Anas andium</i>	Pato Cerceta Andina
Anatidae	<i>Anas georgica</i>	Pato Anade Piquiamarillo
Anatidae	<i>Anas discors</i>	Pato Cerceta Aliazul
Anatidae	<i>Oxyura ferruginea</i>	Pato Rojizo Andino
Anatidae	<i>Nomonyx dominicus</i>	Pato Enmascarado

Cathartidae	<i>Vultur gryphus</i>	Cóndor Andino
Acciptridae	<i>Circus cinerea</i>	Aguilucho Cinéreo
Acciptridae	<i>Accipiter ventralis</i>	Gavilán Azor Pechillano
Acciptridae	<i>Buteo platypterus</i>	Gavilán Aludo
Acciptridae	<i>Buteo polyosoma</i>	Gavilán Variable
Falconidae	<i>Falco sparverius</i>	Cernícalo Americano o Quilico
Cracidae	<i>Penelope montagnii</i>	Pava andina
Scolopacidae	<i>Tringa solitaria</i>	Andarríos Solitario
Columbidae	<i>Columba fasciata</i>	Paloma Collareja
Columbidae	<i>Columbalivia</i>	Paloma común
Columbidae	<i>Columbasubvinacea</i>	Paloma Morada
Columbidae	<i>Geotrygon frenata Paloma</i>	Perdiz Goliblanca
Columbidae	<i>Geotrygon montana</i>	Paloma Perdiz Rojiza
Tytonidae	<i>Tyto alba</i>	Lechuza Campanaria
Strigidae	<i>Otus albogularis</i>	Autillo goliblanco
Strigidae	<i>Bubo virginianus</i>	Búho Coronado Americano
Strigidae	<i>Glaucidium jardinii</i>	Búho Mochuelo Andino
Strigidae	<i>Strix albitarsis</i>	Búho rufibandeado
Caprimulgidae	<i>Caprimulguslongirostris</i>	Chotacabras Alifajeado
Apodidae	<i>Streptoprocnezonaris</i>	Vencejo Cuelliblanco
Trochilidae	<i>Colibricoruscans</i>	Colibrí Orejivioleta Ventriazul
Trochilidae	<i>Oreotrochiluschimborazo</i>	Colibrí Estrella Ecuatoriana
Trochilidae	<i>Patagonas gigas</i>	Colibrí Gigante
Trochilidae	<i>Aglaeactiscupripennis</i>	Colibrí Rayito Brillante
Trochilidae	<i>Lafresnayalafresnayi</i>	Colibrí Terciopelado
Trochilidae	<i>Coeligena coeligena</i>	Colibrí Inca Bronceado
Trochilidae	<i>Coeligenatorquata</i>	Colibrí Collarejo
Trochilidae	<i>Ensifera ensifera</i>	Colibrí Pico Espada
Trochilidae	<i>Heliangelus exortis</i>	Colibrí SolángelTurmalina
Trochilidae	<i>Eriocnemis luciani</i>	Colibrí Zamarrito Colilargo
Trochilidae	<i>Lesbia victoriae</i>	Colibrí Colacintillo Colinegro
Trochilidae	<i>Lesbia nuna</i>	Colibrí Colacintillo Coliverde
Trogonidae	<i>Trogon personatus</i>	Trogón Enmascarado
Rhamphastidae	<i>Andigenahypoglauca</i>	Tucán Andino Pechigrís

Picidae	<i>Piculus rivolii</i>	Carpintero Dorsicarmesí
Picidae	<i>Veniliornis nigriceps</i>	Carpintero Ventribarrado
Furnariidae	<i>Cinclodes fuscus</i>	Cinclodes Alifranjeado
Furnariidae	<i>Cinclodes excelsior</i>	Cinclodes Piquigrueso
Furnariidae	<i>Synallaxis azarea</i>	Colaespina de Azara
Furnariidae	<i>Asthenesflammulata</i>	Canastero Multilistado
Furnariidae	<i>Margarornissquamiger</i>	Subepalo Perlado
Formicariidae	<i>Grallariasquamigera</i>	Gralaria Ondulada
Formicariidae	<i>Grallaria quitensis</i>	Gralaria Leonada
Tyrannidae	<i>Elaenia albiceps</i>	Atrapamoscas EleniaCrestiblanca
Tyrannidae	<i>Mecocerculus</i>	Atrapamoscas Tiranillo
Tyrannidae	<i>leucophrys</i>	Barbiblanco
Tyrannidae	<i>Anairetes parulus</i>	Atrapamoscas CachuditoTorito
Tyrannidae	<i>Pyrrhomyiascinnamomea</i>	Mosquerito Canelo
Tyrannidae	<i>Ochthoecafumicolor</i>	Atrapamoscas PitajoDorsipardo
Tyrannidae	<i>Ochthoecarufipectoralis</i>	Atrapamoscas PitajoPechirrufo
Tyrannidae	<i>Myiotheretesfumigatus</i>	Atrapamoscas AlinaranjaAhumada
Cotingidae	<i>Ampelion rubrocristatus</i>	Cotinga Crestirroja
Corvidae	<i>Cyanolyca turcosa</i>	Urraca Turquesa
Turdidae	<i>Turdus fuscater</i>	Mirlo Grande
Cinclidae	<i>Cinclus leucocephalus</i>	Mirlo acuático Gorriblanco
Hirundinidae	<i>Notiochelidon murina</i>	Golondrina ventricafé
Hirundinidae	<i>Notiochelidon cyanoleuca</i>	Golondrina Azuliblanca
Motacillidae	<i>Anthus bogotensis</i>	Bisbita del Páramo
Parulidae	<i>Myioborus melanocephalus</i>	Reinita Candelita de Anteojos
Fringillidae	<i>Carduelis magellanica</i>	Jilguero Encapuchado
Icteridae	<i>Sturnella belicosa</i>	Oropéndola Pastorero Peruano
Emberizidae	<i>Zonotrichia capensis</i>	Chingolo o Gorrión
Emberizidae	<i>Catamenia analis</i>	Pinzón Semillero Colifajeado
Emberizidae	<i>Catamenia inornata</i>	Pinzón Semillero sencillo
Thraupidae	<i>Catamblyrhynchus diadema</i>	Tangara Gorradiadema
Thraupidae	<i>Thraupis cyanocephala</i>	Tangara Gorriazul
Thraupidae	<i>Dubusia taeniata</i>	Tangara Montana Pechianteada
Thraupidae	<i>Anisognathus igniventris</i>	Tangara Montana Ventriescarlata

Thraupidae	<i>Iridosornis rufivertex</i>	Tangara Coronadorada
Thraupidae	<i>Tangara vassorii</i>	Tangara Azulinegra

Realizado por: Astudillo, C., Herrera, P. 2024.

Fuente: GADMC Penipe, 2016, p. 64-66.

Tabla 4-5: Mastofauna presente en el cantón Penipe.

Familia	Nombre científico	Nombre común
Caenolestidae	<i>Caenolestes fuliginosus</i>	Ratón marsupial sedoso
Caenolestidae	<i>Caenolestes Sangay</i>	Ratón marsupial de Sangay
Canidae	<i>Lycalopex culpaeus</i>	Lobo de paramo
Cervidae	<i>Mazama rufina</i>	Yamala
Cervidae	<i>Pudu mephistophiles</i>	Pudu, ciervo enano
Cricetidae	<i>Akodon mollis</i>	Ratón campestre delicado
Cricetidae	<i>Microryzomys altissimus</i>	Ratón arrocero altísimo
Cricetidae	<i>Microryzomys minutus</i>	Ratón arrocero diminuto
Cricetidae	<i>Phyllotis andium</i>	Ratón orejón de Haggard
Cricetidae	<i>Phyllotis haggardi</i>	Ratón andino acanelado
Cricetidae	<i>Thomasomys cinnamomeus</i>	Ratón andino errante
Cricetidae	<i>Thomasomys erro</i>	Ratón andino de paramo
Cricetidae	<i>Thomasomys paramorum</i>	Cuy silvestre
Caviidae	<i>Cavia aperea</i>	Guanta andina
Cuniculidae	<i>Cuniculus taczanowskii</i>	Zarigüeya andina de orejas blancas
Didelphidae	<i>Didelphis pernigra</i>	Gato de las pampas
Felidae	<i>Leopardus pajeros</i>	Gato de las pampas
Mormoopidae	<i>Mormoops megalophylla</i>	Murciélago rostro de fantasma
Phyllostomidae	<i>Anoura peruana</i>	Murciélago longirostro peruano
Phyllostomidae	<i>Sturnira bidens</i>	Murciélago de hombros amarillos de dos dientes
Vespertilionidae	<i>Histiotus montanus</i>	Murciélago marrón orejón andino
Vespertilionidae	<i>Myotis keaysi</i>	Murciélago vespertino de patas peludas
Vespertilionidae	<i>Myotis oxyotus</i>	Murciélago vespertino montano
Procyonidae	<i>Nasuella olivacea</i>	Coatí andino
Sciuridae	<i>Notosciurus granatensis</i>	Ardilla de cola roja
Ursidae	<i>Tremarctos ornatus</i>	Oso andino

Realizado por: Astudillo, C., Herrera, P. 2024.

Fuente: GADMC Penipe, 2016, p. 67.

Tabla 4-6: Herpetofauna (anfibios) presente en el cantón Penipe.

Familia	Nombre científico	Nombre común
Bufonidae	<i>Atelopus ignescens</i>	Jambato negro
Bufonidae	<i>Atelopus petersi</i>	Jambato de Peters
Craugastoridae	<i>Pristimantis bicantus</i>	Cutín de Yanayacu
Craugastoridae	<i>Pristimantis de villei</i>	Cutín de Ville
Craugastoridae	<i>Pristimantis modipeplus</i>	Cutín de Urbina
Craugastoridae	<i>Pristimantis orcesi</i>	Cutín de Orcés
Craugastoridae	<i>Pristimantis orestes</i>	Cutín de Urdaneta
Craugastoridae	<i>Pristimantis riveti</i>	Cutín de Riveti
Craugastoridae	<i>Pristimantis unistrigatus</i>	Cutín de Quito
Craugastoridae	<i>Pristimantis balionotus</i>	Cutín de lomo manchado
Dendrobatidae	<i>Hyloxalus jacobuspetersi</i>	Rana cohete de Quito
Hemiphractidae	<i>Gastrothe capseustes</i>	Rana marsupial de San Lucas
Telmatobiidae	<i>Telmatobius niger</i>	Uco de manchas naranjas

Realizado por: Astudillo, C., Herrera, P. 2024.

Fuente: GADMC Penipe, 2016, p. 68.

Tabla 4-7: Herpetofauna (reptiles) presente en el cantón Penipe.

Familia	Nombre científico	Nombre común
Gymnophthalmidae	<i>Pholidobolus macbrydei</i>	Cuilanes
Gymnophthalmidae	<i>Riama cashcaensis</i>	Palos
Iguanidae:Tropidurinae	<i>Stenocercus cadlei</i>	Guagsas de Cadle
Iguanidae:Tropidurinae	<i>Stenocercus festae</i>	Guagsas del austro
Iguanidae:Tropidurinae	<i>Stenocercus guentheri</i>	Guagsas de Gunther
Colubridae	<i>Chironius fuscus</i>	Serpientes látigo olivas
Colubridae	<i>Atractus badius</i>	Culebras tierreras

Realizado por: Astudillo, C., Herrera, P. 2024.

Fuente: GADMC Penipe, 2016, p. 69.

4.1.3.3 Cantón Riobamba

Flora: Al pertenecer a un área protegida y a la zona interandina presenta una diversidad de ecosistemas como herbazal del páramo, arbustal siempreverde montano del norte de los Andes, arbustal siempreverde, bosque siempre verde montano alto del norte de la Cordillera Oriental de los Andes, herbazal y arbustal siempreverde subnival del páramo, bosque siempreverde del páramo, herbazal húmedo montano alto superior del páramo, en dichos ecosistemas alberga a más de 1500 especies de plantas. La cobertura vegetal se ha perdido, sobre todo en los páramos por el aumento de la frontera agrícola y pecuaria, pastoreo indiscriminado, deforestación y de más factores antropogénicos y geogénicos ya mencionados anteriormente (GADMC Riobamba, 2020, p. 90-101).

Tabla 4-8: Cobertura vegetal del cantón Penipe.

Ecosistema	Nombre común	Nombre científico
Bosque a mosaico agropecuario	Yamare	<i>Quishuar</i>
Bosque a natural	Flor del caminante o flor de los Andes	<i>Chuquirahua</i>
Bosque a páramo	Queñua o queuña	<i>Polylepis</i>
Bosque a vegetación arbustiva	Huesito; Quebramachete	<i>Ginoxis</i>
	<i>Oreopanax ecuadorense</i>	<i>Pumamaqui</i>
	Gentiana	<i>Gentianella</i>
Bosque a vegetación herbácea	Romerillo	<i>Bidens pilosa</i>

Realizado por: Astudillo, C., Herrera, P. 2024.

Fuente: GADMC Riobamba, 2020, p. 91.

Fauna: Al pertenecer a un área protegida y a la zona interandina presenta una diversidad de especies, en este caso destaca la presencia de aves, además de poseer variedad de mamíferos, animales silvestres y anfibios. Ciertas especies se encuentra en peligro debido a la caza indiscriminada, minería, deforestación y demás factores antropogénicos y geogénicos ya mencionados (GADMC Riobamba, 2020, p. 90-93).

Tabla 4-9: Fauna del cantón Riobamba.

Clase	Nombre común	Nombre científico
Mamífero	Vicuñas, alpacas	<i>Camelidae</i>
	Lobos de páramo, venados de páramo, chucuris, zorrillos, conejos, ratón, zorro	<i>Pseudalopex culpaeus, Mazama Rufina, Mustela frenata Lichtenstein, Mephitidae, Silvylagus</i>

		<i>brasiliensis, Sighoden hispidus, Ducicton sachurae</i>
Aves	Curiquingues, guarros, vencejos, cóndor, patos de páramo, picaflor, Colibrí, Mirlo, Gallinazo, Gavilán, Guarro, Lechuza, Lige o veranero	<i>Phlacoboenus carunculatus, Ico sparverius, Apus, Vultur Griphus,</i>
		<i>Polylepis Inca na, Oreotrochilus Chimborazo, Oreotreoglurus estrella, Cinclus Leococophalus, Coragypis atratus, Accipiter</i>
		<i>Ventrales, Gerahoeaetus melanolencus, Speotyto cunucularia, Vanellus resplendens</i>
Anfibios	Sapo de páramo	<i>Electherodactylus curti</i>

Realizado por: Astudillo, C., Herrera, P. 2024.

Fuente: (GADMC Riobamba, 2020, p. 92)

4.1.4 Descripción del medio socioeconómico

4.1.4.1 Cantón Colta

En el censo poblacional efectuado en el 2010 se determinó una población de 44,971 habitantes, siendo 23329 mujeres y 21642 hombres, al 2020 se espera una reducción de 0,29 % a 44838 habitantes donde 22976 (51,24 %) son mujeres y 21862 (48,76 %) son hombres, sin embargo, la población aumento a 50274 habitantes como se ve en la tabla 4-10 (GADMC Colta, 2019, p. 86-95).

Tabla 4-10: Población presente en el cantón Colta.

Parroquia	Población	Porcentaje (%)
Columbe	15707	31,24
Santiago de Quito	5447	10,83
Juan de Velasco	4915	9,78
Cañi	990	1,97
Sicalpa	16191	32,21

Cajabamba	7024	13,97
	50274	100

Realizado por: Astudillo, C., Herrera, P. 2024.

Fuente: GADMC Colta, 2019, p. 86-95

El grupo étnico que predomina en este cantón es el indígena con 39296 personas (87,38 %), seguido de mestizos con 5497 personas (12,22 %) y otros grupos étnicos con 178 personas (0,40 %). La población representativa se encuentra entre 10 a 14 años y 15 a 19 años, por lo que se ve un aumento en su población (GADMC Colta, 2019, p. 95-97).

El cantón presenta 56 unidades educativas, a pesar de esto se encuentra con un 26,7 % de analfabetismo en la población mayor a 15 años, donde las mujeres alcanzan un 33,55 % y hombres un 19,86 %. La instrucción primaria es la que predomina a nivel cantonal con 36,28 % (GADMC Colta, 2019, p. 130).

La población económicamente activa según datos del INEC se encuentra constituida por 22005 habitantes, siendo un 48,93 % de la población total. La mayoría se encuentra dentro del sector primario (agricultura, silvicultura, caza y pesca) con un 77 %, seguido del sector secundario (industria manufactureras, suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado, distribución de agua, alcantarillado y gestión de desechos y construcción) con un 4,74 % y el sector terciario (comercio al por mayor y menor, transporte y almacenamiento, alojamiento y servicio de comida, información y comunicación, actividades financieras y seguros, profesionales científicas y técnicas, servicio administrativo y de apoyo, administración pública y defensa, enseñanza, actividad de atención de la salud, arte entretenimiento, recreación, actividad del hogar como empleador, organizaciones y órganos extraterritoriales y otras actividades de servicios) con un 18,25 % (GADMC Colta, 2019, p. 270-275).

El cantón posee diversos establecimientos de salud en las diferentes parroquias entre ellos están 6 puestos de salud en Cañi, Santiago de Quito, Columbe, y Villa la Unión; 5 centros de salud tipo A en Santiago de Quito, Juan de Velasco, Columbe y Villa la Unión y 1 hospital básico en Villa la Unión GADMC Colta, 2019, p. 107. Las principales enfermedades que afectan a los habitantes son los representado en la tabla 4-11.

Tabla 4-11: Perfil epidemiológico del cantón Colta.

Diagnóstico	Total	Porcentaje (%)
Rinofaringitis aguda (Resfriado común)	2342	22,05
Amigdalitis aguada, no especificada	1845	17,37
Parasitosis intestinal, sin otra especificación	1290	12,15
Infección de vías urinarias, sitio no especificado	1263	11,89
Faringitis aguda, no especificada	1126	10,60
Cefalea	687	6,47
Amigdalitis estreptocócica	614	5,78
Diarrea y gastroenteritis de presunto origen infeccioso	578	5,44
Dolor en articulación	471	4,44
Vaginitis aguda	404	3,80
Total	10620	100

Realizado por: Astudillo, C., Herrera, P. 2024.

Fuente: GADMC Colta, 2019, p. 110-111

Las parroquias presentan un deficiente y limitado uso de servicios básicos como agua potable, alcantarillado y la recolección de desechos es parcial en Santiago de Quito, Juan de Velasco, Columbe y Cañi, esta última no presenta un servicio de recolección de desechos, por otro lado, todos presentan un servicio de luz y Villa la Unión presenta todos los servicios básicos (GADMC Colta, 2019, p. 329).

4.1.4.2 Cantón Penipe

En el año 2010 se efectuó el censo poblacional, en el cual se determinó la población del cantón Penipe, siendo una población total de 6739, donde 3274 corresponde a mujeres y 3465 a hombres. Presenta una tasa de crecimiento anual de - 4,54 % lo que indica un decaimiento en su población, sin embargo, en la actualidad la población aproximadamente es de 7155, el cual 3071 son hombres y 4084 son mujeres, lo que evidencia un ligero aumento en la misma (GADMC Penipe, 2016, p. 111-114).

Tabla 4-12: Población presente en el cantón Penipe.

Parroquia	Número de habitantes	Porcentaje (%)
Bilbao	204	2,85
El Altar	1449	20,25
La Candelaria	495	6,92
Matus	1033	14,44
Penipe	2178	30,44
Puela	648	9,06
Bayushig	1148	16,04
Total	7155	100

Realizado por: Astudillo, C., Herrera, P. 2024.

Fuente: GADMC Penipe, 2016, p. 112

Entre los grupos étnicos el que predomina en el cantón es principalmente el mestizo con 96,66 %, seguido del blanco con 1,56 %, afroecuatoriano con 0,91 %, indígena con 0,70 %, montubio con 0,55 % y mulato con 0,53 % (GADMC Penipe, 2016, p. 146).

En el año 2010 las personas de la tercera edad eran consideradas en su mayoría como analfabetas, sin embargo, en la actualidad la mayoría de la población tiene acceso al servicio de educación primaria y secundaria, no obstante, aun presenta una tasa al acceso a la educación superior baja (GADMC Penipe, 2016, p. 116).

La población económicamente activa hasta el censo del 2010 fue de 2979 personas, resultando en un desempleo cantonal de 2,05 %, donde 2 de cada 100 no poseen un trabajo, la parroquia con mayor desempleo es Penipe, seguida de Matus, Bayushig, El Altar, La Candelaria, Puela y Bilbao donde no se reportó desempleo. De la población total solo el 42 % se dedica a diferentes actividades económicas donde el 65 % se dedica al sector primario (la agricultura, ganadería, silvicultura y pesca), el 8 % al sector secundario (actividades de la industria y manufactura), el 19 % al sector terciario (prestación de servicios), el 6 % no ha declarado su actividad económica y el 2 % se encuentra desempleado (GADMC Penipe, 2016, p. 166-170).

El cantón cuenta un subcentro de salud en la parroquia de Penipe, a su vez cuenta con un servicio privado denominado CEBYCAM y un dispensario en el sector de Guzo y la parroquia de Puela, también cuenta con diversos puestos de salud en Bayushig, El Altar, La Candelaria y Matus (GADMC Penipe, 2016, p. 121). Las principales enfermedades que afectan a los habitantes del cantón se mencionan en la tabla 4-13.

Tabla 4-13: Patologías que afectan el cantón Penipe.

Patología	Total	Porcentaje (%)
Amigdalitis aguada, no especificada	1960	27
Rinofaringitis aguda (Resfriado común)	915	13
Parasitosis intestinal, sin otra especificación	740	10
Infección de vías urinarias, sitio no especificado	688	10
Faringitis aguda, no especificada	640	9
Diarrea y gastroenteritis de presunto origen infecciosos	409	6
Vaginitis aguda	259	4
Cefalea	231	3
Lumbago no especificado	219	3
Gastritis, no especificado	174	2
Bronquitis aguda, no especificada	169	2
Dolor abdominal localizado en parte superior	159	2
Hipertensión esencial (primaria)	136	2
Mialgia	96	1
Dolor en articulación	91	1
Enuresis no orgánica	91	1
Neuralgia y Neuritis no especificadas	69	1
Dispepsia	68	1
Hipercolesterolemia puro	41	1
Dorsalgia, no especificada	40	1
Total	7195	100

Realizado por: Astudillo, C., Herrera, P. 2024.

Fuente: GADMC Penipe, 2016, p. 123

Las principales afecciones hacen referencia a infecciones respiratorias agudas que se deben a la presencia de la ceniza volcánica y las condiciones climáticas; las parasitosis y enfermedades diarreicas agudas se deben a la mala manipulación de los alimentos, la calidad del agua e higiene;

las infecciones del tracto urinario se deben a las largas jornadas de los habitantes dedicadas al sector primario e higiene de estos (GADMC Penipe, 2016, p. 123).

El cantón presenta una cobertura de los servicios básicos del 88,18 % para el agua de consumo que es entubada, un 49,19 % en el servicio de alcantarillado, un 82,76 % al servicio de recolección de basura y finalmente un 100 % en el servicio de luz eléctrica. Ciertos asentamientos humanos no cuentan con los servicios, esto debido a su lejanía, antigüedad, abandono o habitadas con personas de la tercera edad o discapacitados en situación de abandono (GADMC Penipe, 2016, p. 232-240).

4.1.4.3 *Cantón Riobamba*

La población del cantón hasta el último censo se encuentra en 225741 habitantes de los cuales 106840 (47,33) son hombres y 118901 (52,67 %) son mujeres (GADMC Riobamba, 2020, p. 192). El grupo étnico que predomina en el cantón es el mestizo con 70,91 %, seguido del indígena con 24,24 %, el blanco con 3,09 %, el afroecuatoriano con 1,06 %, el mulato con 0,32 %, el montubio con 0,28 % y otros con el 0,10 % (GADMC Riobamba, 2020, p. 203).

La población económicamente activa está conformada por 100585 personas siendo el 44,56 % del total de la población. El 63,80 % pertenece al sector terciario (servicios), siendo este el más representativo del cantón, seguido del sector primario (agropecuario) con 20,02 % y el sector secundario (industria) con 8,59 %. El cantón está enfocado más a proveer de servicios y materia prima (GADMC Riobamba, 2020, p. 288-289).

El cantón presenta un total de 180 unidades educativas de las cuales 104 están en el sector urbano y 76 en el rural. A pesar de esto las parroquias rurales o más alejadas muestran un mayor nivel de analfabetismo y a nivel cantonal presenta que un 9 % de la población se encuentra sin ningún nivel de educación, el 39 % con instrucción primaria, el 24 % con instrucción secundaria, el 15 % con educación superior y apenas un 0,40 % con postgrado (GADMC Riobamba, 2020, p. 147-161).

El cantón presenta 3 centros de salud equipados, 8 subcentros y 3 puestos de trabajo, además el ministerio de salud implemento en el cantón un hospital de especialidades y otro pediátrico, también presenta centros de salud N ° 1 y 3, asimismo 9 subcentros de salud urbanos, 10 subcentros rurales y 17 puestos de salud, además cuenta con el Hospital del IESS, 23 unidades de atención externa y 10 unidades del seguro campesino. Por otro lado, las fuerzas armadas poseen un hospital de especialidades y la policía un centro de salud. Por otro lado se encuentran los

centros de salud privados entre ellos están 17 clínicas, 2 centros naturistas, 6 centros médicos, 11 laboratorios clínicos, 15 consultorios laboratoristas, 26 consultorios odontológicos, 32 consultorios médicos, 3 consultorios obstétricos, 6 ópticas, además de la Cruz Roja y Hospital Andino Alternativo, además de la medicina alternativa como parteras, yachaks, sobadores, hierberos, homeopatía, acupuntura, laserterapia, aromaterapia y demás (GADMC Riobamba, 2020, p. 163-165).

Los servicios básicos como agua en las zonas urbanas están contemplado al 89,30 % y de alcantarillado al 97,71 %, por otro lado, el sector rural solo el 37,69 % está contemplado en la distribución de agua por tuberías no potable, y solo el 9 % de alcantarillado (GADMC Riobamba, 2020, p. 309). El servicio eléctrico contempla a casi todo el cantón sin embargo un 12 % a 14 % de las viviendas de este no cuentan con el servicio (GADMC Riobamba, 2020, p. 360). Por otro lado, el servicio de recolección de basura abarca al sector urbano con un 97,72 %, asimismo en la zona rural solo abarca un 18,48 % (GADMC Riobamba, 2020, p. 370). 370

4.1.5 Determinación del área de influencia

4.1.5.1 Área de influencia directa

El área de influencia de manera directa del volcán Tungurahua afecta principalmente Penipe, Guano y Riobamba en zonas de Puela, el Altar, Bilbao, Bayushig, Penipe, San José en el caso de la provincia de Chimborazo, mientras que en Tungurahua a Pelileo, Quero, Mocha, Tisaleo y Ceballos, en los que se presentaron mayor intensidad de las cenizas, afectando a un total de 8133 Ha de pasto, 2057 Ha de cultivos y un total de 17339 cabezas de ganado bovino según lo registrado por la secretaría de gestión de riesgos (Equipo Técnico de Dirección de Monitoreo de Eventos Adversos, 2016, p. 1-3).

En el caso del volcán Sangay, este ha presentado numerosas emisiones e incluso se encuentra en fase activo en la actualidad desde el año 2019 afectando de manera directa a zonas tales como Guamote, Pallatanga, Alausí, Cumandá y Riobamba de la provincia de manera fuerte, Chambo, Penipe Guano de manera moderada en Chimborazo, afectando a un total de 54557 Ha de cultivos, generando pérdidas de 58 Ha y afectando a un total de 135547 animales hasta el 2021 (Equipo Técnico de la Dirección de Monitoreo de Eventos Adversos, 2021, p. 2-4), mientras que en el 2023 se ha presentado caídas de ceniza fuerte en Cebadas, Guamote, Pallatanga y palmira, presentándose leve en cantones aledaños como Colta, afectando a 4770 Ha de cultivos y 810 animales (Dirección de Monitoreo de Eventos Adverso, 2023, p. 2-3).

4.1.5.2 Área de influencia indirecta

Respecto al área de influencia indirecta, esta varía respecto a la intensidad de la erupción y la velocidad del viento presente, dividiéndose en categorías tales como intensa, moderada y leve, lo cual afecta de tal forma que se han encontrado muestras de ceniza en Manta, Esmeraldas, Manabí y Salinas del volcán Tungurahua, se debe tener en cuenta que mientras más lejano se encuentre del sitio, el tamaño de la partícula la ceniza tiene la tendencia a ser de mínimo (Instituto Geofísico, 2011).

En el caso del volcán Sangay, este ha afectado de manera moderada y leve las provincias Bolívar, Guayas y los Ríos (Dirección de Monitoreo de Eventos Adverso, 2023, p. 3).

4.2 Resultados de las encuestas

4.2.1 Factor socioeconómico

Pregunta N° 1: Número de trabajadores.

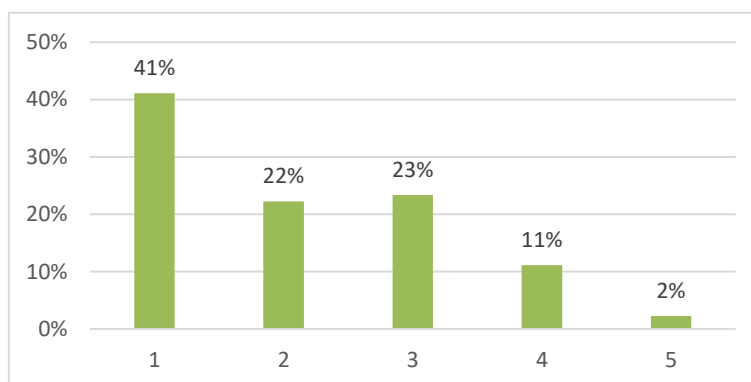


Ilustración 4-2: Número de trabajadores

Realizado por: Astudillo, C., Herrera, P. 2024.

El 41 % de las personas encuestadas manifiestan que trabaja solo 1 persona, el 22 % indican que trabajan 2 personas, el 23 % expresan que trabajan 3 personas, el 11 % indican que trabajan 4 personas y solo el 2 % manifiesta que trabajan 5 personas. Esto indica que los cantones de Colta, Penipe y Riobamba presenta un mayor número de trabajadores entre 1 a 3 personas, siendo estos miembros del mismo vínculo familiar.

Pregunta N° 2: ¿Qué tipo de especie cría actualmente?

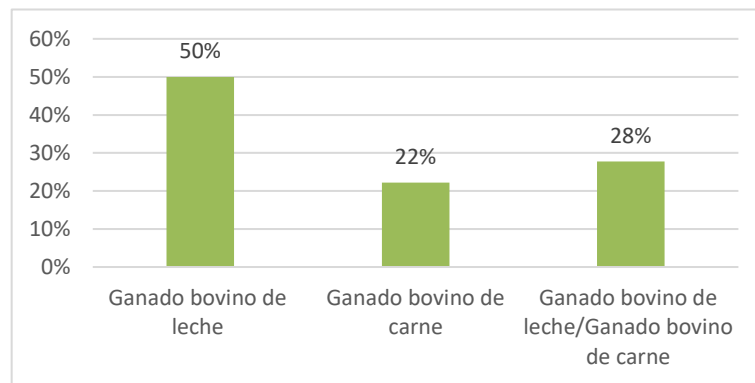


Ilustración 4-3: Tipo de ganado que cría las personas encuestadas.

Realizado por: Astudillo, C., Herrera, P. 2024.

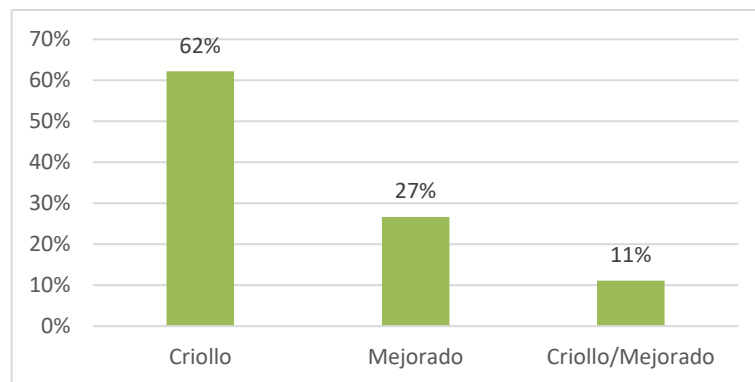


Ilustración 4-4: Raza de ganado que cría las personas encuestadas.

Realizado por: Astudillo, C., Herrera, P. 2024.

El 50 % de las personas encuestadas poseen ganado bovino de leche, el 22 % ganado bovino de carne y un 28 % poseen tanto ganado bovino de leche como de carne. A su vez, el 62 % posee ganado criollo, un 27 % posee ganado mejorado y un 11 % posee tanto ganado criollo como mejorado. Esto indica que la mayoría de las personas poseen ganado bovino de leche criollo.

Pregunta N° 3: Número de hectáreas o solares destinadas al pastoreo.

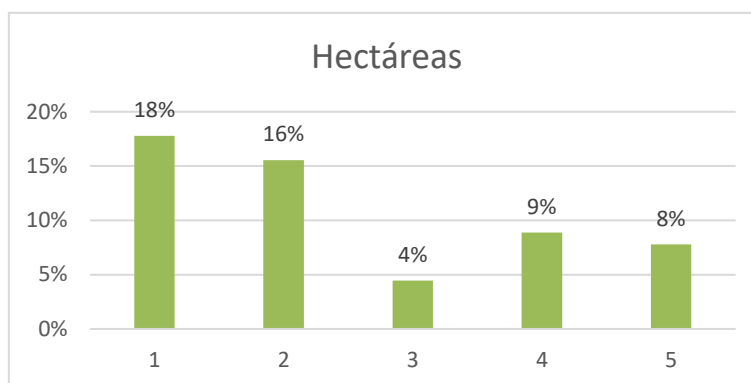


Ilustración 4-5: Número de hectáreas que poseen las personas encuestadas.

Realizado por: Astudillo, C., Herrera, P. 2024.

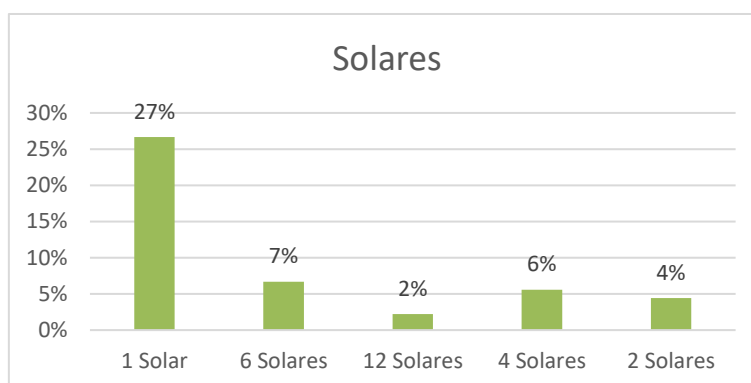


Ilustración 4-6: Número de solares que poseen las personas encuestadas.

Realizado por: Astudillo, C., Herrera, P. 2024.

El 27 y 18 % de las personas encuestadas mencionan que poseen 1 hectárea o solar respectivamente, el 16 y 4 % mencionan que poseen 2 hectáreas o solares, el 4 % posee 3 hectáreas, el 9 y 6 % poseen 4 hectáreas o solares respectivamente, el 8 % poseen 5 hectáreas, el 7 % poseen 6 solares y el 2 % poseen 12 solares, todas estas áreas son destinadas para el pastoreo.

Pregunta N° 4: El ganado se alimenta principalmente de.

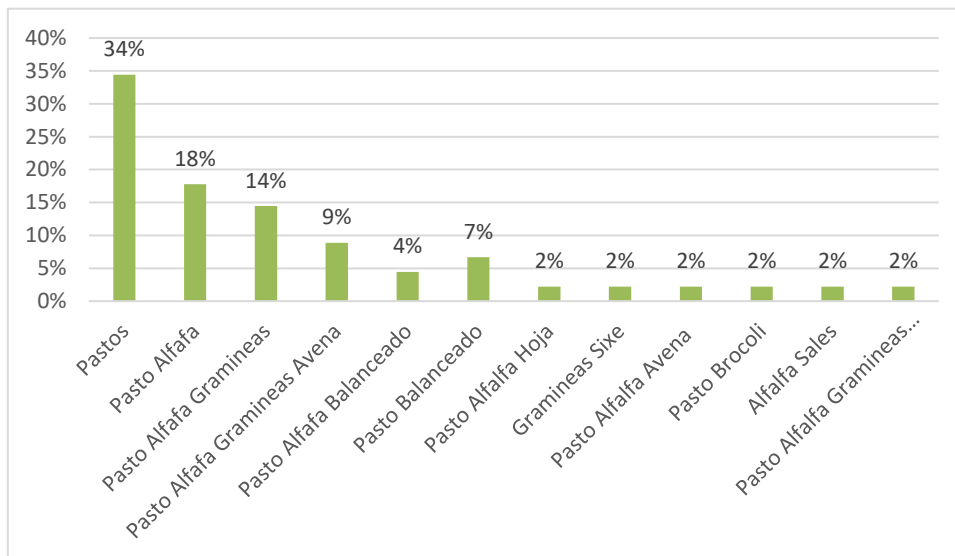


Ilustración 4-7: Alimento del ganado de las personas encuestadas.

Realizado por: Astudillo, C., Herrera, P. 2024.

El 34 % de las personas encuestadas mencionan que alimentan al ganado con solo pastos, el 18 % lo alimenta con pastos y alfalfa, el 14 % con pastos, alfalfa y gramíneas, el 9 % lo alimenta con pastos, alfalfa, gramíneas y avena, el 4 % lo alimenta con pastos, alfalfa y balanceado, el 7 % lo alimenta con pasto y balanceado, el 2 % restante lo alimenta con pasto, alfalfa y hoja de maíz, además de gramíneas y sigse, también pasto, alfalfa y avena, a su vez pasto y brócoli, también alfalfa y sales y finalmente pasto, alfalfa, gramíneas y balanceado. Existiendo una variedad en la alimentación del ganado de los cantones Colta, Penipe y Riobamba.

Pregunta N° 5: Recibe ayuda técnica para la crianza del ganado.

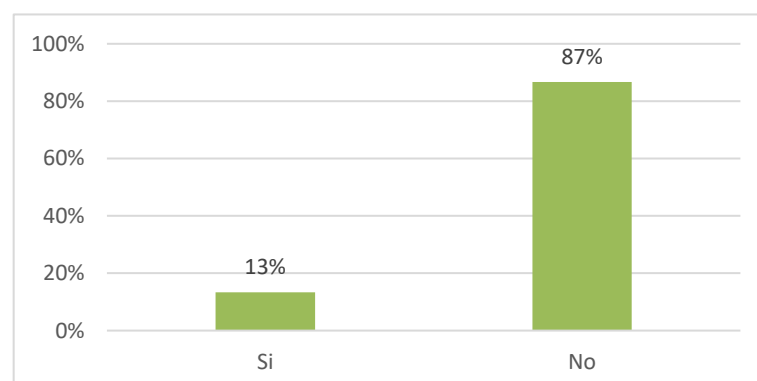


Ilustración 4-8: Ayuda recibida para la crianza del ganado de las personas encuestadas.

Realizado por: Astudillo, C., Herrera, P. 2024.

El 87 % de los encuestados no reciben ayuda técnica en la crianza del ganado, por otro lado, solo un 13 % recibe ayuda de instituciones como el MAGAP y de manera particular.

Pregunta N° 6: El ganado bebe agua de.

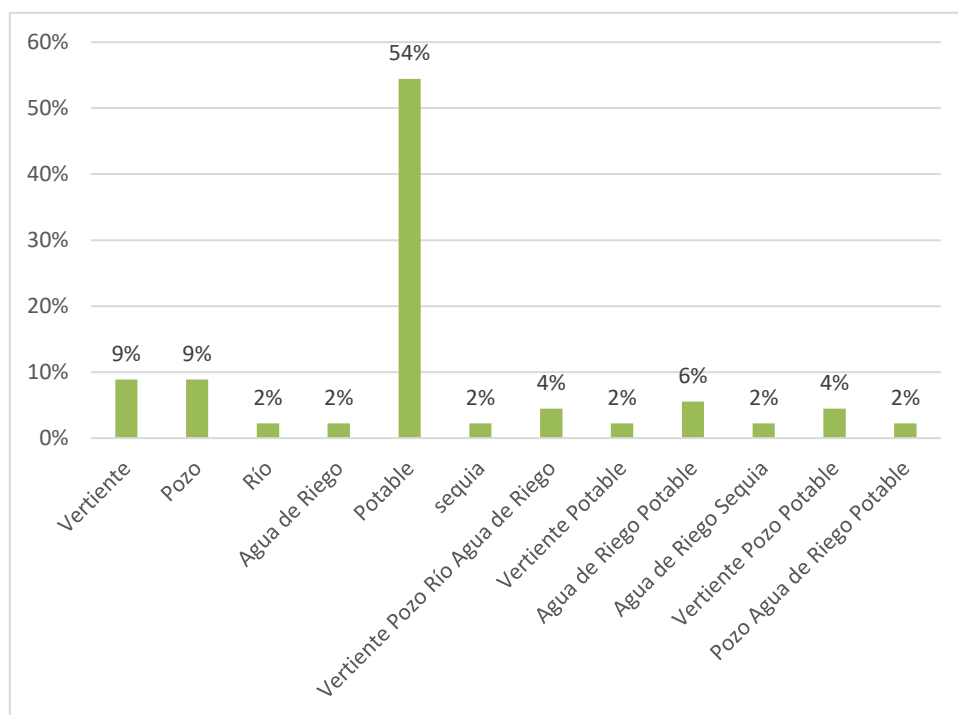


Ilustración 4-9: Agua utilizada para el ganado de las personas encuestadas.

Realizado por: Astudillo, C., Herrera, P. 2024.

El 54 % de encuestados dan de beber al ganado agua potable de la llave, el 9 % de vertiente y pozo, el 6 % de agua de riego y potable, el 4 % de vertiente, pozo, rio y agua de riego, así como también de vertiente, pozo y potable, el 2 % restante de rio, agua de riego, sequia, así como también de vertiente y potable, a su vez agua de riego y sequía, y finalmente de pozo, agua de riego y potable.

4.2.2 Sector lechero

Pregunta N° 7: ¿A qué se encuentra destinada la leche que produce?

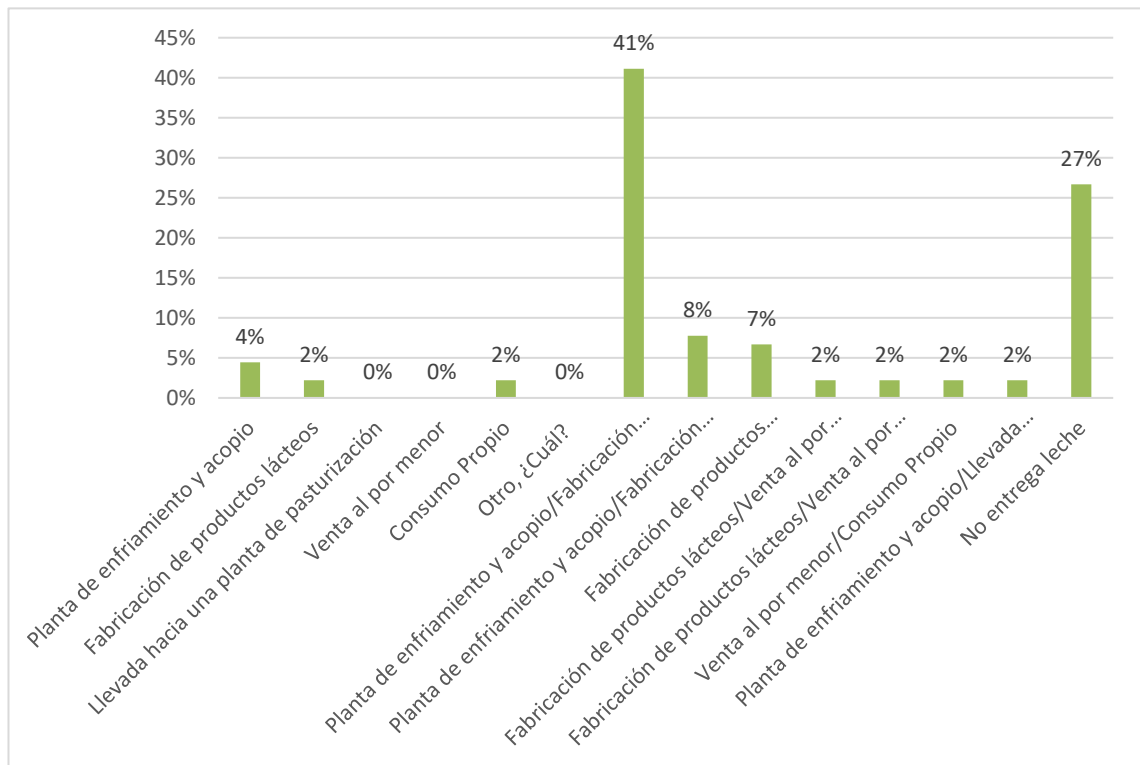


Ilustración 4-10: Destino de la leche de las personas encuestadas.

Realizado por: Astudillo, C., Herrera, P. 2024.

El 41 % de las personas encuestadas entregan la leche a plantas de enfriamiento y acopio y a la fabricación de productos lácteos, por otro lado, el 27 % no entregan la leche, el 8 % destina a plantas de enfriamiento y acopio, fabricación de productos lácteos y consumo propio, el 7 % destina a fabricación de productos lácteos y consumo propio, el 2 % restante destina a diversos procesos como fabricación de productos lácteos, también al consumo propio, a su vez a la fabricación de productos lácteos y venta al por menor, también a la fabricación de productos lácteos, venta al por menor y a la auto producción, a la venta al por menor y consumo propio, además de planta de enfriamiento y acopio y llevada hacia una planta de pasteurización.

4.2.3 Residuos del sector lechero

Pregunta N° 8: Considera Ud. ¿Qué el lactosuero es un residuo?

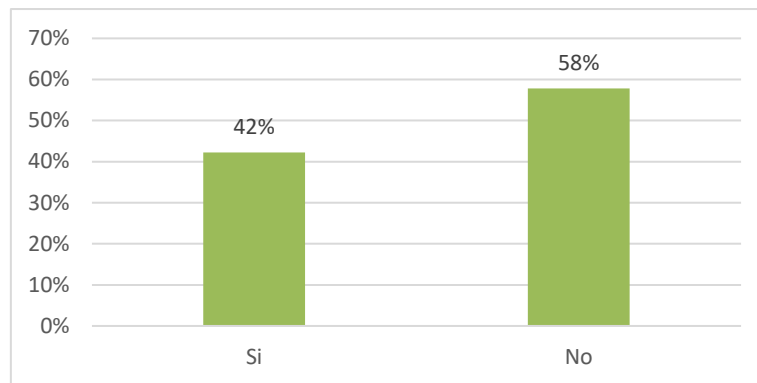


Ilustración 4-11: Consideración del lactosuero por las personas encuestadas.

Realizado por: Astudillo, C., Herrera, P. 2024

Del total de encuestados el 58 % considera que el lactosuero no es un residuo; el restante correspondiente al 42 % si considera que este puede ser desechado.

Pregunta N° 9: ¿Cuál es la disposición final del lactosuero?

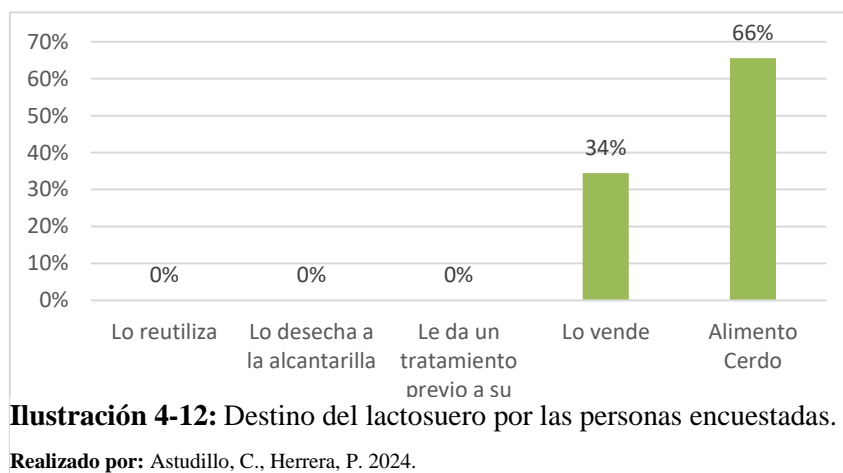


Ilustración 4-12: Destino del lactosuero por las personas encuestadas.

Realizado por: Astudillo, C., Herrera, P. 2024.

De los encuestados que consideran que el lactosuero no es un residuo y puede ser reutilizado el 66 % lo utiliza como alimento para cerdos, mientras que el 34 % lo vende.

Pregunta N° 10: ¿Los residuos de estiércol se encuentran cerca a fuentes de agua?

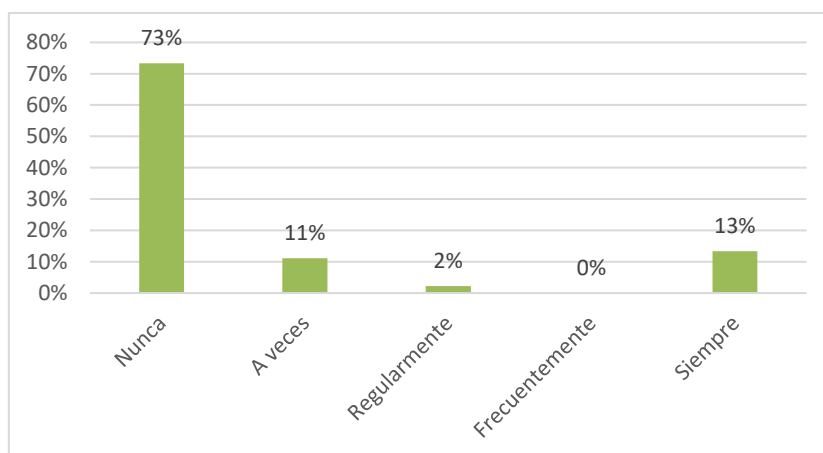


Ilustración 4-13: Estiércol cerca de fuentes de agua por las personas encuestadas.

Realizado por: Astudillo, C., Herrera, P. 2024.

El 73 % de los encuestados respondieron que el estiércol del ganado nunca se encuentra cerca de fuentes de agua, el 11 % respondió que a veces se encuentran cerca, el 2 % que regularmente, el 0 % de manera frecuente mientras que, el 13 % mencionó que siempre se encuentra en las cercanías de fuentes de agua.

Pregunta N° 11: ¿El ganado se encuentra cerca de fuentes de agua?

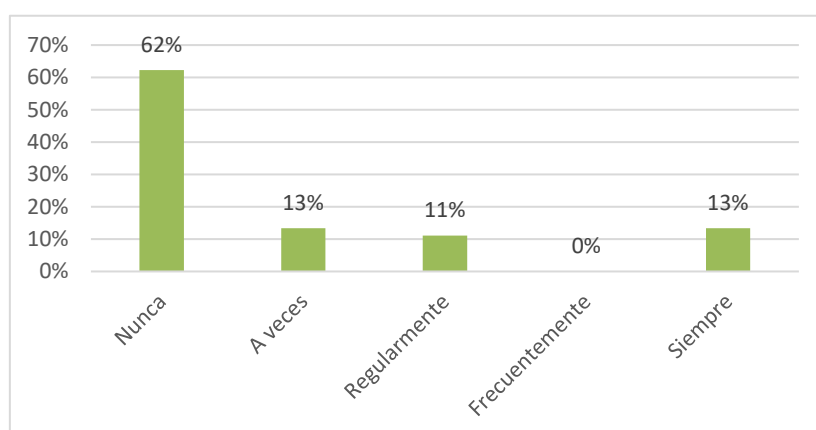


Ilustración 4-14: Lugar del ganado de las personas encuestadas.

Realizado por: Astudillo, C., Herrera, P. 2024.

El 62 % de los encuestados afirmaron que el ganado nunca se encuentra cerca de fuentes de agua, el 13 % a veces, el 11 % menciona que regularmente, el 0 % de manera frecuente mientras que, el 13 % afirma que siempre.

Pregunta N° 12: ¿Qué tiempo permanece el estiércol vacuno sobre el suelo?

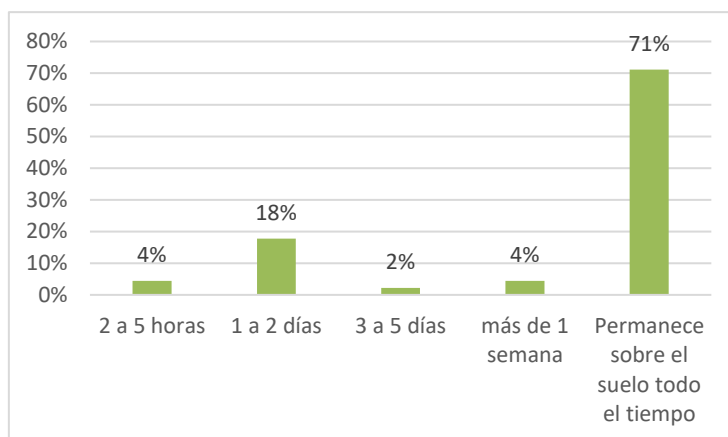


Ilustración 4-15: Permanencia del estiércol del ganado en el suelo de las personas encuestados.

Realizado por: Astudillo, C., Herrera, P. 2024.

El 71 % de los encuestados afirman que el estiércol vacuno permanece sobre el suelo todo el tiempo, el 18 % menciona que este permanece de 1 a 2 días, un 4 % lo deja permanecer de 2 a 5 horas, mientras que otro 4 % deja permanecer más de 1 semana, finalmente el 2 % lo deja permanecer de 3 a 5 días.

4.2.4 Pesticidas

Pregunta N° 13: ¿Utiliza pesticidas para fumigar las plagas de los pastos que son destinados para el pastoreo?

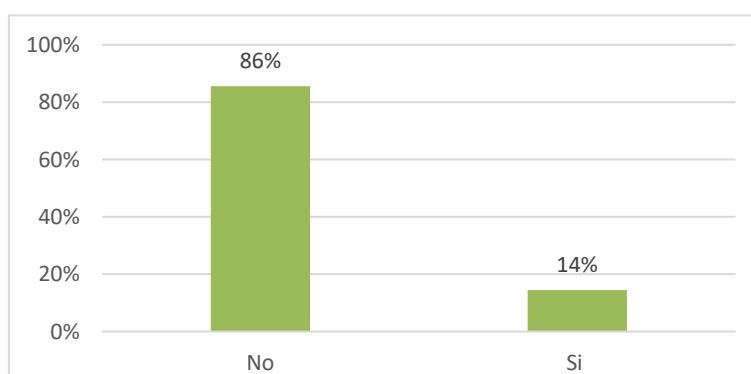


Ilustración 4-16: Utilización de pesticidas por las personas encuestadas.

Realizado por: Astudillo, C., Herrera, P. 2024.

El 86 % de las personas encuestadas no utilizan pesticidas para fumigar las plagas en los pastos destinados para el ganado, mientras que el 14 % restante si utiliza.

Pregunta N° 14: ¿Qué tipo de pesticida utiliza?

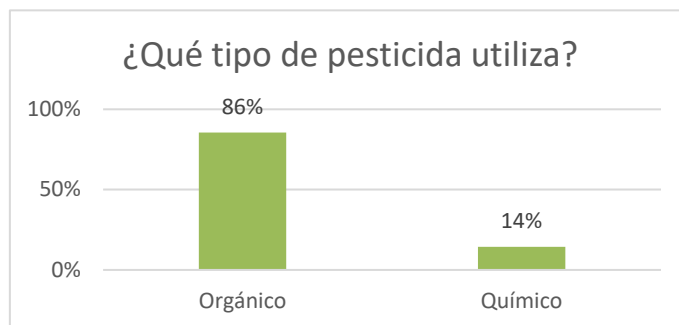


Ilustración 4-17: Tipo de pesticida usado por las personas encuestadas.

Realizado por: Astudillo, C., Herrera, P. 2024.

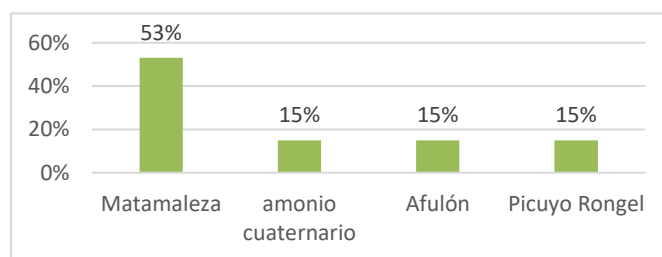


Ilustración 4-18: Marca de pesticidas utilizados por las personas encuestadas.

Realizado por: Astudillo, C., Herrera, P. 2024.

Del total de encuestados el 86 % no utiliza pesticidas para tratar los pastos destinados al ganado, debido a que utilizan el propio estiércol del ganado como abono de los terrenos, mientras que el 14 % utiliza pesticidas químicos; del total de pesticidas químicos se encuentran que el 53 % utiliza matamalezas, mientras que el Amonio cuaternario, Afulon y Picuyo Rongel es aplicada por 15 % cada uno de la población encuestada.

Pregunta N° 15: ¿Cuál es la raza de su ganado?

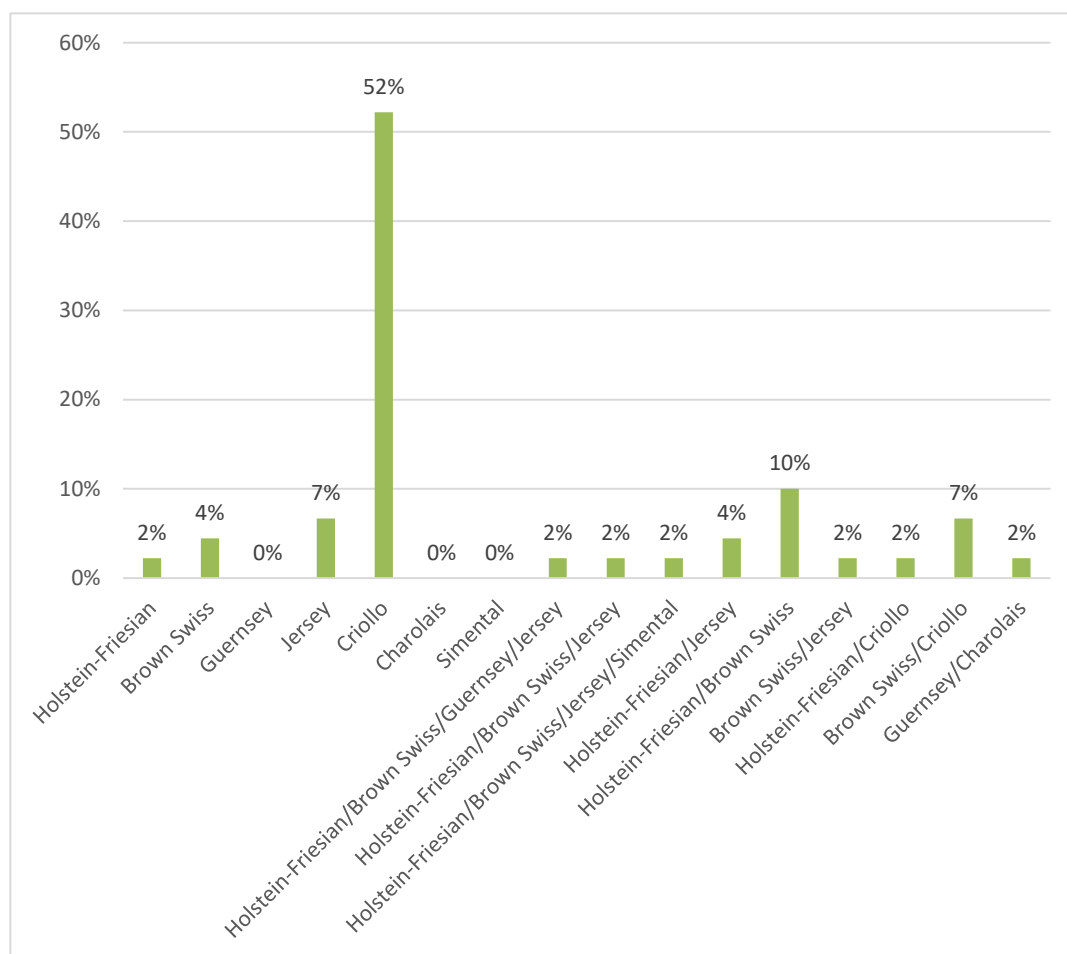


Ilustración 4-19: Raza del ganado de las personas encuestadas.

Realizado por: Astudillo, C., Herrera, P. 2024.

Del total de encuestados el 52 % menciona que la raza de su ganado es criolla, el 10 % posee ganado de raza Holstein-Friesian y Brown Swiss, el 7 % posee Jersey , otro 7 % posee Brown Swiss y criollo, un 4 % Brown Swiss, otro 4 % Holstein-Friesian y Jersey, mientras que Holstein-Friessian; Holstein-Friesian , Brown Swiss, Jersey y Guernsey; Holstein-Friesian, Brown Swiss, Jersey y Simental; Brown Swiss y Jersey; Holstein-Friesian y criollo; Guernsey y Charolais corresponden a un 2 % por cada agrupación de razas de ganado, de manera individual las razas Guernsey, Charolais y Simental representan un porcentaje de 0.

4.3 Resultados del suelo

4.3.1 Resultados de los análisis fisicoquímicos y físicas del suelo

Tabla 4-14: Resultados de los análisis fisicoquímicos y físicos de las muestras de suelo.

Muestra	pH		CE		MO		Da		Dr		Textura
			uS/cm		%		g/cm ³		g/cm ³		
S1	7,53	bc	147,67	b	4,21	c	1,15	c	2,51	a	Franco arenoso
S2	7,02	a	204,07	d	7,11	e	0,95	a	2,35	a	Franco arenoso
S3	7,12	a	86,70	a	1,59	a	1,33	d	2,49	a	Arenoso franco
S4	7,43	b	389,63	e	4,30	c	1,08	b	2,39	a	Franco arenoso
S5	7,41	b	171,20	c	6,19	d	1,06	b	2,47	a	Franco arenoso
S6	7,62	c	147,30	b	3,34	b	1,14	c	2,52	a	Franco arenoso
F-ANOVA	35,96		671,63		502,15		88,60		2,70		
	***		***		***		***		NS		

Realizado por: Astudillo, C; Herrera, P. 2024.

S= Muestra de suelo, pH= Potencial de hidrogeno, CE= Conductividad eléctrica, MO=Materia orgánica, Dr= Densidad real, Da= Densidad aparente

*** Diferencia significativa con un 95 % de confiabilidad.

a, b, c, d, e Letras pertenecientes a cada grupo.

En la tabla 4-14 se muestran los resultados de los análisis fisicoquímicos de las muestras de suelos desarrollados en los laboratorios de la ESPOCH, los cuales fueron tratados con el software IBM SPSS para el análisis de varianza ANOVA con el fin de determinar si existen diferencias significativas entre las medias de cada punto de muestreo tomado, seguido de una prueba de Tukey-b para comprar las variables presentes.

4.3.1.1 Análisis y discusión del pH en suelo

El potencial de hidrogeno (pH) es un factor determinante que puede influir en la disponibilidad de nutrientes, la actividad microbiana, así como la movilidad y solubilidad de minerales y contaminantes inorgánicos en el suelo (Andrades y Martínez, 2022, p. 18-19; Andrades et al., 2015, p. 40; USDA, 1999, p. 63).

El acuerdo ministerial 097A, establece un rango de pH entre 6 y 8 como óptimo para asegurar una calidad adecuada del suelo. En los datos de la tabla 4-14, todas las muestras cumplen con este criterio. Además, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) sugiere un pH ideal de 6,5 para suelos agrícolas, mientras que el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) indica que un pH entre 6 y 7,5 proporciona

condiciones óptimas para el crecimiento de la mayoría de los cultivos. Mantener un pH dentro de estos rangos es esencial para garantizar un ambiente propicio para la salud y desarrollo de las plantas (Andrades y Martínez, 2022, p. 18-19; FAO, 2017b; USDA, 1999, p. 63).

Los resultados de pH de las muestras del suelo (tabla 4-14), presentan una diferencia significativa con un nivel de confianza del 95 % con cuatro grupo separados por letras con características similares, los suelos del grupo “a” se encuentra en el rango óptimo de pH para suelos agrícolas según la USDA, los suelos del grupo “b” se acercan a los límites máximos permisibles mientras que los grupos “c” y “bc” superan las condiciones óptimas, lo cual es coincidente con la textura del suelo y las elevadas concentraciones de potasio presente en el suelo niveles de pH neutros (Bohn et al., 1993, p. 321).

4.3.1.2 Análisis y discusión de la conductividad eléctrica en suelo

La conductividad eléctrica (CE) es un indicador que revela la presencia de sales en la mezcla de suelo y agua, siendo crucial para el desarrollo de las plantas. No obstante, un exceso de CE puede resultar perjudicial, afectando el equilibrio entre suelo y agua (Andrades et al., 2015, p. 43; USDA, 1999, p. 59).

Conforme al acuerdo ministerial 097A, que rige la calidad del suelo, se establece un límite máximo de 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para la CE. En la tabla 4-14, las muestras S1, S5 y S6 cumplen con este criterio. Por otro lado, las muestras S2 y S4 muestran datos que superan los límites establecidos. No obstante, la muestra S3 exhibe una CE notablemente baja, sugiriendo una carencia de nutrientes esenciales para el desarrollo vegetal, sin embargo, el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) señala que una CE óptima para el crecimiento de las plantas se encuentra en el rango de 0 a 0,8 dS/m, equivalente a 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$, en cuyo caso todas las muestras se encuentran dentro del rangp establecido. Es esencial mantener un equilibrio adecuado en la CE para asegurar condiciones óptimas para el crecimiento vegetal (USDA, 1999, p. 52).

Los resultados de la CE de suelos (tabla 4-14) presentan una diferencia significativa con un nivel de confianza del 95 % con cinco grupos separados por letras, siendo estos grupos “a”, “b”, “c” y “d”, en el cual el grupo “e” presenta una elevada CE según el acuerdo ministerial 097A.

4.3.1.3 Análisis y discusión de materia orgánica en suelo

La materia orgánica (MO) desempeña un papel fundamental en la salud del suelo, ya que, en suelos fértiles, su porcentaje generalmente oscila entre el 1 % y el 5 %. Este valor varía según el material vegetal presente, la textura del suelo y su pH. La MO contribuye significativamente a mejorar diversas propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Desde el punto de vista físico, la materia orgánica mejora la estructura del suelo, reduce la densidad aparente y aumenta la porosidad, lo que beneficia la aireación e infiltración del agua. Además, facilita la retención de agua, reduce el escurrimiento superficial y fortalece la estabilidad de los agregados del suelo, previniendo la erosión. En términos químicos, la MO influye en la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y contribuye al poder de amortiguación del suelo, entre otros aspectos que sustentan la fertilidad del suelo. Desde una perspectiva biológica, la MO fomenta la actividad microbiana y la presencia de organismos beneficiosos, enriqueciendo así la biodiversidad del suelo. En conjunto, estos beneficios hacen que la MO sea un componente esencial para promover la calidad y productividad del suelo (Andrades y Martínez, 2022, p. 19; Andrades et al., 2015, p. 61; Trinidad y Velasco, 2016, p. 54).

En los suelos arenosos un contenido ideal de MO oscila entre 1,2 % y el 1,7 %, mientras que en los suelos francos este rango se encuentra entre el 1,5 % y el 2 %. Los resultados de la tabla 4-14 revelan una diferencia significativa con un nivel de confianza del 95 %, en donde las muestras S1, S2, S4, S5 y S6 muestran porcentajes de MO de 4,21 %; 7,11 %; 4,30 %; 6,19 %; y 3,34 % respectivamente, separados por grupos como “b”, “c”, “d” y “e”. En contraste, la muestra S3 (“a”) presenta un contenido de MO del 1,59 %. Estos datos indican que las muestras S1, S2, S4, S5 y S6 exhiben niveles muy altos de MO, lo cual beneficia significativamente sus propiedades físicas, químicas y biológicas. En cambio, la muestra S3 se caracteriza por un nivel bajo de MO, afectando ciertas propiedades como retención de agua, densidad aparente, aireación, capacidad de intercambio catiónico, entre otros. Esta variabilidad en el contenido de MO resalta la importancia de considerar sus efectos en las características del suelo (Andrades y Martínez, 2022, p. 19; Andrades et al., 2015, p. 61; Trinidad y Velasco, 2016, p. 53).

4.3.1.4 Análisis y discusión de la densidad aparente en suelo

La densidad aparente (D_a) se define como la relación entre la masa de suelo previamente secado en una estufa y el volumen total, abarcando tanto el volumen de las partículas como los espacios porosos entre ellas, dependiendo de la textura, materia orgánica y compactación del suelo (Andrades et al., 2015, p. 35; USDA, 1999, p. 57; Villaseñor, 2016, p. 39).

Los resultados de D_a presentados (tabla 4-14) muestran una diferencia significativa con un nivel de confianza del 95 % con cuatro grupos separados por letras tales como “a”, “b”, “c” y “d”, en el caso del grupo “a” este presenta una densidad baja debido a la elevada MO presente.

En los suelos con textura arenoso franco, se considera la D_a ideal $< 1,60 \text{ g/cm}^3$, mientras que, en suelos franco arenoso, el límite es de $< 1,40 \text{ g/cm}^3$. Los resultados de la tabla 4-14 muestran que las muestras S1, S2, S4, S5 y S6, con textura franco arenoso, presenta una D_a de 1,15; 0,95; 1,08; 1,06 y $1,14 \text{ g/cm}^3$, respectivamente. Por otro lado, la muestra S3, con textura arenoso franco, muestra una D_a de $1,33 \text{ g/cm}^3$. Todas las muestras se encuentran dentro de los rangos ideales para el crecimiento de las plantas, ya que la estructura porosa facilita la circulación de agua y aire, así como la compactación adecuada para un desarrollo saludable de las raíces (Andrades et al., 2015, p. 35; USDA, 1999, p. 57; Villaseñor, 2016, p. 44).

4.3.1.5 *Análisis y discusión de la densidad real en suelo*

La densidad real (D_r) se define como la relación entre la masa de las partículas previamente secado en una estufa y el volumen, excluyendo los espacios porosos que existe entre las partículas. El contenido promedio de las diferentes partículas que componen el suelo es de $2,65 \text{ g/cm}^3$ (Andrades et al., 2015, p. 35; FAO 2017a; Villaseñor 2016, p. 52).

Dicho factor se ve sometido a variaciones las cuales se relacionan con el contenido de materia orgánica, ya que este contiene una D_r baja de 1,2 a $1,7 \text{ g/cm}^3$ y a su composición mineralógica como la de feldspatos, cuarzo y arcillas se mantienen cerca del promedio de $2,65 \text{ g/cm}^3$, cuando existe la presencia de minerales ferromagnéticos la D_r puede ser mayor al promedio, así mismo la presencia de metales pesados puede alterar la D_r ; el rango de D_r según el tipo de suelo, los arenosos presentan de $2,63$ a $2,67 \text{ g/cm}^3$, los limosos de $2,65$ a $2,70 \text{ g/cm}^3$, los arcillosos de $2,67$ a $2,90 \text{ g/cm}^3$. En la tabla 4-14 las muestras S1, S2, S3, S4, S5 y S6 presentan una D_r de 2,51; 2,35; 2,49; 2,39; 2,47 y $2,52 \text{ g/cm}^3$ respectivamente, los cuales se encuentran ligeramente por debajo del promedio, esto debido a la diferente composición del suelo y a la presencia de una mayor cantidad de materia orgánica (Villaseñor, 2016, p. 52-54), los resultados presentados no representan significancia ya que no se dividen en grupos, las seis muestras tienen características similares.

4.3.1.6 *Análisis y discusión de textura en suelo*

La textura del suelo es un factor crucial que influye en su fertilidad, ya que impacta diversos aspectos como la retención de agua, la aireación, el drenaje, el contenido de materia orgánica y la capacidad para retener nutrientes (FAO, 2017a; Villaseñor, 2016, p. 23).

Los resultados de la tabla 4-14 revelan que las muestras S1, S2, S4, S5 y S6 poseen una textura franco arenoso, caracterizada por un contenido de arcilla $\leq 20\%$, limo $\leq 50\%$ y arena entre 50 y 70%. En contraste, la muestra S3 presenta una textura arenoso franco, con un contenido de arcilla $\leq 15\%$, limo $\leq 30\%$, y arena entre 70 y 86%. Estas texturas se clasifican como suelos de textura gruesa, destacándose por su facilidad de trabajo y escasa plasticidad. Debido al Tamaño de las partículas, estos suelos promueven una excelente aireación y permeabilidad. Sin embargo, presentan una baja capacidad de retención de agua, lo que puede resultar en condiciones de sequía. Además, contienen una cantidad mínima de materia orgánica, y los nutrientes tienden a lixiviarse más fácilmente, perdiéndose hacia el subsuelo debido al rápido drenaje. Este fenómeno condiciona el crecimiento de la vegetación en estos suelos (Fertilab, 2023, p. 2; Gisbert et al., 2010, p. 7-8).

4.3.2 Resultados de macronutrientes en suelo

Tabla 4-15: Resultados de macronutrientes en suelo.

Muestra	K		P		C		N		C/N	
	(ppm)		(ppm)		%		%			
S1	1012,82	e	0,92	a	3,83	c	0,74	b	5,20	b
S2	841,36	d	0,43	a	5,03	d	0,88	d	5,73	bc
S3	123,47	a	2,81	b	1,56	a	0,60	a	2,63	a
S4	483,70	c	2,99	b	4,18	c	0,74	b	5,62	bc
S5	243,09	b	4,88	c	5,21	d	0,82	c	6,34	c
S6	479,21	c	24,50	d	3,11	b	0,59	a	5,30	b
F-	150,35		1359,62		72,43		81,47		34,28	
ANOVA	***		***		***		***		***	

Realizado por: Astudillo, C; Herrera, P. 2024

S= Muestra de suelo, K= Potasio, P= Fósforo, C= Carbono, N= Nitrógeno, C/N= Relación Carbono/Nitrógeno

*** Diferencia significativa con un 95 % de confianza

a, b, c, d, e. Letras pertenecientes a cada grupo

4.3.2.1 *Análisis y discusión del potasio*

El potasio (K) desempeña un papel crucial como nutriente esencial para el crecimiento de las plantas. Su concentración en suelo puede variar entre el 0,5 % y el 3,0 %, dependiendo de la composición del suelo. Este elemento puede clasificarse de tres maneras distintas: K no asimilable, este tipo de potasio se encuentra dentro de la estructura cristalina de los minerales presentes en el suelo. Sin embargo, mediante procesos de disolución y acidificación, entre otros, estos minerales pueden degradarse gradualmente, convirtiéndose en formas más disponibles y aprovechables; K rápidamente asimilable, está constituido por K soluble y K intercambiable. Ambos tipos se mantienen en equilibrio y pueden ser fácilmente absorbidos por las plantas; K lentamente asimilable, este tipo de K se retiene temporalmente por ciertas arcillas, quedando atrapado entre las láminas cristalinas de dichos minerales. No obstante, con el paso del tiempo o bajo diversas condiciones, este K puede ser liberado y convertirse en K intercambiable, disponible para las plantas (Andrades y Martínez, 2022, p. 23; Navarro y Navarro, 2003, p. 259-261; Navarro et al., 2022, p. 107-108).

En suelos de regadío con textura arenosa, la concentración de K ideal oscila entre 136 a 215 ppm, mientras que en suelos francos este rango se encuentra entre 156 y 295 ppm. Los resultados de la tabla 4-15 muestran que las muestras S1, S2, S4 y S6 presentan concentraciones de K de 1012,82; 841,36; 483,70 y 479,21 ppm respectivamente, indicando una alta concentración de K. En contraste, la muestra S5 exhibe 243,09 ppm, considerado un nivel normal de K. Todas las muestras comparten una textura franco arenoso. Sin embargo, en la muestra S3 presenta una textura arenoso franco, registra una concentración de K de 123,47 ppm, indicando una deficiencia de K, de esta forma los resultados muestran una diferencia significativa con un nivel de confianza del 95 %, con cinco grupos separados por letras de “a”, “b”, “c”, “d” y “e”; donde las muestras S4 y S6 están representados por el grupo “c” muestran características similares. Cuando la cantidad de K en el suelo se encuentra en un rango inferior entre 100 a 150 ppm, es probable que exista una deficiencia de este nutriente, lo que implica la necesidad de aplicar fertilizantes para mejorar la producción de cultivos (Andrades y Martínez, 2022, p. 23; Navarro et al., 2022, p. 108).

4.3.2.2 *Análisis y discusión del fósforo*

El fósforo (P) desempeña un papel crucial como nutriente esencial para el crecimiento de las plantas. Su concentración en el suelo puede variar entre 0,03 % a 0,5 %. Se puede clasificar en: P orgánico, el cual se encuentra en forma de moléculas complejas que forman parte de la materia orgánica del suelo y como P inorgánico, el cual forma parte de los minerales que se encuentran

en los suelos como apatitos. Las formas más asimilables por las plantas son en forma de ortofosfatos primarios (H_2PO_4^-) y ortofosfatos secundarios (H_2PO_4^-) (Andrades y Martínez, 2022, p. 21; Navarro y Navarro, 2003, p. 233-245; Navarro et al., 2022, p. 144-145).

En los suelos de regadío con textura arenosa, la concentración de P típicamente oscila entre 13 y 18 ppm, mientras que en suelos franco este rango se encuentra entre 16 y 25 ppm. Los resultados de la tabla 4-15 muestran que las muestras S1, S2, S4, S5 y S6, todos con una textura franco arenoso, presentan concentraciones de P de 0,92; 0,43; 2,99; 4,88 y 24,50 ppm respectivamente. Por otro lado, la muestra S3, con textura arenoso franco, registra una concentración de P de 2,81 ppm. En los cuales se muestra una diferencia significativa con un nivel de confianza de 95 %, presentando un total de cuatro grupos de letras, de los cuales los grupos “a”, “b”, y “c” muestran una baja concentración de este macronutriente, a excepción del grupo “d” correspondiente a la muestra S6 que presenta un rango normal. La presencia de una cantidad adecuada de P en el suelo es esencial para garantizar el desarrollo óptimo de las plantas, por lo que la aplicación de fertilizantes es ideal para mejorar la producción de cultivos en caso de ser necesario (Andrades y Martínez, 2022, p. 22; Navarro y Navarro, 2003, p. 236).

4.3.2.3 *Análisis y discusión del carbono*

En el suelo, diversos procesos biológicos y químicos contribuyen a la descomposición de la materia orgánica, que abarca desde residuos de plantas y animales hasta restos de raíces y exudados de raíces. Esta descomposición da lugar a la formación de lo que se conoce como materia orgánica del suelo (MOS). Durante este proceso, parte del carbono (C) contenido en la biomasa se incorpora a la MOS, mientras que otra parte puede ser liberada a la atmósfera en forma de dióxido de carbono (CO_2) a través de la respiración de los organismos vivos y la descomposición microbiana. La MOS típicamente contiene entre un 52 % y un 58 % de C (Andrades et al., 2015, p. 61; FAO, 2017b; Fassbender y Bornemisza, 1987, p. 45; Herrera, 2017, p. 10).

Un contenido de C puede considerarse como muy bajo cuando sea $< 1,2$ %, como bajo entre 1,2 % y 2,9 %, se considera normal o ideal entre 2,9 % a 4,6 %, un contenido alto entre 4,6 % a 8,7 % y niveles > 15 % como muy altos. Los resultados de la tabla 4-15 muestran diferencias significativas con un nivel de confianza de 95 %, separados por grupos como “c” y “b” para las muestras S1, S4 y S6 que registran un porcentaje de C de 3,83 %; 4,18 %; y 3,11 % respectivamente, lo cual indica niveles normales de C. Por otro lado, las muestras S2 y S5, representados por el grupo “d” muestran porcentajes de C de 5,03 % y 5,21 % respectivamente,

lo que se considera como niveles altos de C. En contraste, la muestra S3 con el grupo “a” presenta un porcentaje de C de 1,56 %, el cual posee un nivel bajo de C (Fassbender y Bornemisza, 1987, p. 50).

Un nivel óptimo de C promueve una estructura del suelo saludable, aumenta la retención de agua y nutrientes, y beneficia la actividad biológica beneficiosa. Sin embargo, niveles bajos de C pueden provocar erosión y degradación del suelo, mientras que niveles excesivamente altos puede causar desequilibrios nutricionales y afectar la disponibilidad de otros nutrientes esenciales para las plantas (Andrades et al., 2015, p. 61; Trinidad y Velasco, 2016, p. 53-55).

4.3.2.4 *Análisis y discusión del nitrógeno*

El nitrógeno (N) es un macronutriente fundamental para la nutrición de las plantas. En el suelo, aproximadamente el 98 % del N se encuentra en forma orgánica, mientras que el 2 % restante está presente en forma inorgánica. Esta última forma es de suma importancia, ya que las plantas la utilizan principalmente en forma de amonio (NH_4^+) o nitrato (NO_3^-) (Bonadeo et al., 2017, p. 245; FAO, 2017b; Navarro y Navarro 2003, p. 185; Navarro et al., 2022, p. 139).

La capa superior de la mayoría de los suelos cultivados por lo general contiene entre un 0,02 y un 0,4 % de N. Los resultados de la tabla 4-15 muestran diferencias significativas a un nivel de confianza del 95 %, presentando porcentaje de N en las muestras S1, S2, S3, S4, S5 y S6 de 0,74; 0,88; 0,60; 0,74; 0,82 y 0,59 % respectivamente, los cuales se encuentran divididos en cuatro grupos como “a”, “b”, “c” y “d”, sin embargo, todas las muestras superan el rango establecido como ideal, a pesar de este exceso de N no se considera como tóxico (Bonadeo et al., 2017, p. 246).

4.3.2.5 *Análisis y discusión de la relación C/N*

La relación C/N es un parámetro importante que influye en la fertilidad del suelo y la actividad de los microorganismos. Esta relación refleja la proporción de C respecto al N en un sustrato orgánico, como el compost o la materia orgánica del suelo. Una relación C/N adecuada es fundamental para la descomposición eficiente de la materia orgánica del suelo y la liberación de nutrientes disponibles para las plantas. Cuando la relación C/N es demasiado alta, con más C que N, puede ralentizar la descomposición y limitar la disponibilidad de N para las plantas. Por otro lado, una relación C/N baja puede indicar una rápida descomposición, pero también una pérdida de C (Andrades et al., 2015, p. 61; Navarro et al., 2022, p. 142).

La relación C/N se considera en equilibrio o normal cuando se encuentra dentro del rango de 8,5 a 12, indicando así un adecuado balance entre C y N en el suelo, lo que conlleva a una regulación controlada de la liberación de N mineral y el contenido de C en el suelo. Por otro lado, cuando la relación C/N es $< 8,5$; se observa una liberación excesiva de N mineral, mientras que, si es > 12 , se presenta una escasa liberación de N. En los resultados obtenidos en la tabla 4-15, las muestras S1, S2, S3, S4, S5 y S6 presentan una relación C/N de 5,20; 5,73; 2,63; 5,62; 6,34 y 5,30 respectivamente, los cuales presentan diferencias significativas entre si con un nivel de confianza del 95 %, formando grupos de “a”, “b”, “c” y “bc”, sin embargo, todas las muestras se encuentran por debajo del rango óptimo de equilibrio. Esta condición conlleva a una mayor liberación de N en el suelo, lo que puede tener ciertas implicaciones, como el aumento temporal de la disponibilidad de N para las plantas, lo que a su vez puede estimular el crecimiento vegetativo. Sin embargo, si esta liberación de N no se compensa con la disponibilidad de otros nutrientes esenciales, como P y K, puede resultar en desequilibrios nutricionales en las plantas. Por lo tanto, es crucial monitorear y ajustar la relación C/N para mantener la salud del suelo y optimizar la disponibilidad de nutrientes para las plantas (Andrades et al., 2015, p. 61; Navarro et al., 2022, p. 143; Soto et al., 2016, p. 101).

4.3.3 Resultados de metales pesados en suelo

Tabla 4-16: Resultados de metales pesados en suelo.

Muestra	Cd		Pb	
	(ppm)		(ppm)	
S1	0,09	a	2,70	b
S2	0,10	a	2,71	b
S3	1,14	c	0,91	a
S4	0,52	b	2,74	b
S5	1,21	c	4,04	d
S6	0,49	b	3,54	c
F-ANOVA	248,945		109,0133	
	***		***	

Realizado por: Astudillo, C; Herrera, P. 2024

S= Muestra de suelo, Cd= Cadmio, Pb= Plomo

*** Diferencia significativa con un 95 % de confianza

a, b, c, d, e. Letras pertenecientes a cada grupo

4.3.3.1 *Análisis y discusión de cadmio y plomo en el suelo*

El acuerdo ministerial de ambiente N° 387, establece los criterios de calidad del suelo, en el cual especifica los límites permisibles máximos de 0,5 mg/Kg para cadmio (Cd) y 19 mg/Kg para plomo (Pb), a pesar de ello el Cd tiene un nivel aceptable de 0,05 debido a que participa en diversos ciclos biológicos y este valor puede disminuir por reacciones redox de plantas como el fitoplancton o partículas biogénicas (Goetschel, 2018, p. 27; Pozo, 2017, p. 124). De las muestras tomadas, todas (tabla 4-16) presentan diferencias significativas con un nivel de confianza del 95 %, en el cual se dividen en grupos denominados por letras según sus características; las muestras S3, S4 y S5 superan el límite permisible de Cd, la muestra S6 registra valores muy cercanos a este límite, estos pertenecen a los grupos “b” y “c”, mientras que las muestras S1 y S2 se encuentran dentro del límite permisible y corresponden al grupo “a”. En el caso del Pb, todas las muestras presentan niveles por debajo del límite permisible, cumpliendo el acuerdo ministerial de ambiente, este presenta cuatro grupos, siendo estos denominados como “a”, “b”, “c” y “d”.

La presencia de Cd y Pb en el suelo se encuentra relacionado con la presencia de la ceniza volcánica de los volcanes Tungurahua y Sangay en las zonas estudiadas, en donde las muestras S1 y S2 correspondientes a Riobamba; S3 y S4 a Colta; S5 y S6 a Penipe, si bien la ceniza contiene metales pesados, minerales y óxidos, también presenta Cd y Pb que excede los límites permisibles en Cd, pero se encuentra dentro del límite permisible para Pb (Morales y Erazo, 2020, p. 17), de esta forma podemos decir que las zonas mayormente afectadas son Colta y Penipe, que coincide con la trayectoria de la simulación de caída de ceniza realizada por el Instituto Geofísico, con mayor intensidad, además de ellos se debe considerar el carácter antropogénico, como las actividades industriales que se desarrollan en las cercanías de Colta y Riobamba como lo es la empresa de cemento, además de ellos se debe considerar el uso del plomo tetraetilo como antidetonante en la gasolina, el cual libera Pb al ambiente, este generalmente se encuentra en concentraciones bajas que a pH elevados puede generar complejos con la materia orgánica, hidróxidos, fosfatos o carbonatos, en el caso del Cd puede deberse de igual forma al factor antropogénico debido a los barros cloacales que se generan en la zona industrial, además de ello se presentan pequeñas concentraciones en fertilizantes fosfatados, presentando mayor disponibilidad a un pH más elevado (Mengel y Kirkby, 2000, p. 527-530).

Los iones de Pb y Cd poseen una solubilidad relativa, pero la materia vegetal puede absorber trazas de iones presentes al aumentar el pH (Bohn et al., 1993, p. 321).

4.4 Resultados del forraje

4.4.1 Resultados del análisis de la materia orgánica del forraje

Tabla 4-17: Resultados del análisis de la materia orgánica del forraje.

Muestra	MO	
	%	
F1	83,52	a
F2	87,79	d
F3	90,14	e
F4	86,52	b
F5	87,40	c
F6	93,16	f
F-ANOVA	1157,41	

Realizado por: Astudillo, C; Herrera, P. 2024

F= Muestra de forraje, MO= Materia orgánica

*** Diferencia significativa con un 95 % de confianza

a, b, c, d, e, f. Letras pertenecientes a cada grupo

4.4.1.1 Análisis y discusión de la materia orgánica del forraje

Las plantas son organismos autótrofos que aprovechan la energía solar para llevar a cabo la síntesis de sus componentes a partir de dióxido de carbono (CO₂), agua (H₂O) y minerales. El peso seco de las plantas constituye aproximadamente entre un 90 y un 95 % de la materia orgánica (MO) presente en ellas, la cual está compuesta principalmente por carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O) provenientes del CO₂ y H₂O. Por otro lado, el 5 al 10 % restante corresponde a los minerales que se encuentran en la planta que absorben del suelo y que desempeñan un papel crucial en su metabolismo y desarrollo (López, 2020, p. 1; Pérez, 2017, p. 4).

Los resultados obtenidos en la tabla 4-17 se presentan diferencias significativas a un nivel de confianza del 95 %, el cual se divide en 6 grupos diferentes según las características, siendo estos representados por letras “a”, “b”, “c”, “d”, “e” y “f”, revelan a las muestras F3 y F6 de los grupos “e” y “f” con un porcentaje de MO de 90,14 y 93,16 % respectivamente, los cuales se encuentran

dentro del rango establecido, lo que indica un desarrollo ideal del forraje, por otro lado, las muestras F1, F2, F4 y F5 de los grupos “a”, “d”, “b” y “c” presentan porcentajes ligeramente por debajo del rango establecido, lo que puede limitar el rendimiento del forraje.

4.4.2 Resultados del análisis de macro y micronutrientes del forraje

Tabla 4-18: Resultados de macro y micronutrientes del forraje.

Muestra	NO_3^-		PO_4^-		SO_4^-		Cl^-		Na		K		P		C		N		
	(ppm)		(ppm)		(ppm)		(ppm)		(ppm)		%		(ppm)	%	%		%		
F1	2184,07	a	5575,32	a	1389,93	b	7506,07	b	1220,11	ab	2,11	a	2700,32	0,27	c	40,21	a	3,19	c
F2	2552,98	b	12300,35	e	3945,16	e	9636,99	c	973,02	a	3,57	bc	3723,05	0,37	e	41,86	a	2,60	bc
F3	2775,61	c	7161,13	b	1610,98	bc	6753,78	b	1475,42	b	3,85	c	2268,17	0,23	b	41,06	a	2,28	b
F4	2940,99	d	10047,19	d	2379,44	d	14294,58	d	953,81	a	7,55	e	3493,97	0,35	d	42,25	a	2,99	c
F5	2103,70	a	7938,29	c	1874,99	c	10025,03	c	1298,53	ab	5,75	d	2724,12	0,27	c	39,68	a	2,93	c
F6	2625,33	b	5655,61	a	421,54	a	2988,70	a	3740,52	c	3,42	b	2029,64	0,20	a	39,40	a	1,46	a
F-ANOVA	76,914		1407,97		299,38		215,16		130,01		697,02		808,65			1,47		21,06	
	***		***		***		***		***		***		***			NS		***	

Realizado por: Astudillo, C; Herrera, P. 2024

F= Muestra de forraje, NO_3^- = Nitratos, PO_4^{3-} = Fosfatos, SO_4^{2-} = Sulfatos, Cl^- = Cloruros, Na= Sodio, K= Potasio, P= Fósforo, C= Carbono, N= Nitrógeno

*** Diferencia significativa

NS= No Significativo

a, b, c, d Letras pertenecientes a cada grupo.

4.4.2.1 *Análisis y discusión de nitratos del forraje*

La evaluación del estado nutricional de las plantas suele involucrar la medición de nitratos (NO_3^-). En el caso del forraje seco, se considera una concentración óptima de NO_3^- que oscila entre 1500 y 2000 ppm. Sin embargo, niveles que superen los 2000 ppm y lleguen hasta los 3000 ppm pueden indicar un límite crítico de concentración, lo que podría clasificar al forraje como potencialmente dañino para el consumo animal (Cueto et al., 2003, p. 286-294; Valdés et al. 2004, p. 22).

Los resultados mostrados en la tabla 4-18 presenta una diferencia significativa a un nivel de confianza del 95 %, que divide en grupos respecto a sus características, como “a”, “b”, “c” y “d”; los cuales revelan concentraciones de NO_3^- en el grupo “a” perteneciente a las muestras F1 y F5 de 2184,07 y 2103,70 ppm respectivamente, dichas muestras se encuentran ligeramente por encima del límite óptimo. En contraste, con el grupo “b” de las muestras F2 y F6; grupo “c” la muestra F3 y grupo “d” la muestra F4 los cuales presentan concentraciones de NO_3^- de 2552,98, 2526,33 y 2940,99 ppm respectivamente, superando el límite óptimo, pero dentro del rango crítico de concentración, Estos niveles elevados pueden asociarse con posibles efectos adversos en la salud del ganado, como una reducción en la producción de leche, abortos y, en casos graves la muerte del animal (Cueto et al., 2003, p. 286).

4.4.2.2 *Análisis y discusión de fosfatos del forraje*

Los fosfatos tienen funciones determinadas en el metabolismo vegetal y la energía celular que repercuten de manera directa en la maduración y formación de semillas de la planta al ser un componente principal en ácidos nucleicos, ATP, ADP y membranas, los fosfatos se presenta en niveles óptimos con valores entre 3000 a 5000 ppm (Raghothama, 1999, p. 676; Villegas y Mixquitla, 2016, p. 56).

Los resultados obtenidos de la tabla 4-18 presentan diferencias significativas entre las muestras estudiadas, con un nivel de confianza del 95 %. Estos resultados se dividen en cinco grupos según los niveles de fosfatos presentes en cada muestra. El grupo “a” está compuesto por las muestras F1 y F6, que exhiben valores de 5575,31 y 5655,61 ppm, respectivamente. Estas concentraciones superan ligeramente los valores óptimos, lo que sugiere una posible afectación en la salud de las plantas. El grupo “b”, representando por la muestra F3 con 7161,13 ppm, también excede los niveles óptimos, indicando una posible acumulación de fosfato en el suelo. Por otro lado, el grupo “c” de la muestra F5 muestra un valor de 7938,29 ppm, mientras que el grupo “d” muestra F4

presenta un valor de 10047,19 ppm y el grupo “e” muestra F2 alcanza un valor de 12300,35 ppm. Siendo estos 4 grupos los que superan ampliamente los valores óptimos, sugiriendo una concentración significativamente alta de fósforo en el suelo, posiblemente debido a la aplicación de fertilizantes químicos fosfatados.

4.4.2.3 *Análisis y discusión de sulfatos del forraje*

El azufre, absorbido por las plantas en forma de sulfato (SO_4^-), desempeña un papel crucial en su desarrollo al formar parte de componentes esenciales como proteínas y vitaminas. Para asegurar un crecimiento óptimo, se considera que el rango ideal de concentración de sulfatos está entre el 0,05 y el 0,90 % en peso seco, lo que equivale a una concentración de 500 a 10000 ppm (Navarro y Navarro, 2003, p. 273-274; Sharma et al., 2024, p. 1).

Los resultados presentados en la tabla 4-18 poseen diferencias significativas a un nivel de confianza del 95 % y revelan las concentraciones de SO_4^- divididas en cinco grupos respecto a sus características, en el grupo “bc” de la muestra F3 con una concentración de 1640,98 ppm presenta características similares a los grupos “b” y “c” las muestras F1 y F5, con valores de 1389,93 y 1874,99 ppm respectivamente, además, se encuentran los grupos “d” y “e” de las muestras F4 y F2 con concentraciones de 2379,44 y 3945,16 ppm, todos los grupos mencionados se encuentran dentro del rango ideal. Por otro lado, el grupo “a” de la muestra F6 muestra una concentración de SO_4^- de 421,54 ppm, por debajo del rango óptimo. La deficiencia de SO_4^- se manifiesta con síntomas como hojas amarillas, necrosis y quemaduras en las hojas, enanismo y atrofia en la planta, así como tallos delgados. Por otro lado, un exceso de SO_4^- no se considera tóxico, ya que se almacena dentro de la planta (Correndo y García, 2012, p. 4; Navarro y Navarro, 2003, p. 283; Sharma et al., 2024, p. 6-9).

4.4.2.4 *Análisis y discusión de cloruros del forraje*

El cloro (Cl) es un elemento vital para el desarrollo de las plantas, disponible en forma de cloruros (Cl^-). Su función es crucial en procesos como la fotosíntesis, la osmorregulación y el crecimiento vegetal. La concentración de Cl^- tiende a ser más alta en el forraje de hierbas que en los cultivos completos, con niveles que oscilan entre 1000 y 20000 ppm. Sin embargo, una concentración excesiva de cloruros en el tejido vegetal puede resultar en toxicidad, lo que subraya la importancia de controlar los niveles de Cl para un crecimiento vegetal saludable (FertiLab, 2022, p. 1; Geilfus,

2018, p. 877; Navarro y Navarro, 2003, p. 413; Pérez, 2017, p. 87; Thomson & Joseph Ltd, 2011, p. 3; Villa et al., 2006, p. 79).

Los resultados de la tabla 4-18 presentan una diferencia significativa con un nivel de confianza del 95 % y se dividen en cuatro grupos según sus características similares, siendo estos “a”, “b”, “c” y “d”; el grupo “a” corresponde a la muestra F6 con concentraciones de 2988,70 ppm, el grupo “b” corresponde a las muestras F1 y F3 con valores de 7506,07 y 6753,78 ppm; el grupo “c” corresponde a las muestras F2 y F5 con 9636,99 y 10025,03 ppm, finalmente el grupo “d” corresponde a la muestra F4 con 14294,58 ppm de Cl^- . Estos valores sugieren que se encuentran dentro de un rango ideal de concentración de Cl^- . Se sabe que una concentración excesiva de Cl^- puede causar daño en hojas por quemaduras, reducir la actividad fotosintética y obstaculizar la absorción de nitratos. Por otro lado, la deficiencia de Cl^- puede provocar síntomas como marchitamiento, bronceado, necrosis, reducción en el crecimiento de la raíz y falta de producción de productos. Por lo tanto, mantener un equilibrio adecuado en la concentración de Cl^- es crucial para garantizar un desarrollo vegetal saludable (FertiLab, 2022, p. 3; Navarro y Navarro, 2003, p. 414; Pérez, 2017, p. 87; Villa et al., 2006, p. 79).

4.4.2.5 *Análisis y discusión del sodio y potasio del forraje*

La salinidad de las plantas está directamente influenciada por la composición iónica del suelo y la disponibilidad de iones esenciales en el entorno radicular, incluyendo Na^+ , Cl^- , HCO_3^- , Mg^{2+} , SO_4^{2-} y boratos. La estabilidad de esos iones es crucial, ya que su desequilibrio puede ocasionar repercusiones significativas en la fisiología vegetal. Altas concentraciones de sodio (Na) pueden resultar en acumulación salina perjudicial para la planta, lo que a su vez afecta su capacidad para absorber agua. Este fenómeno se manifiesta en plantas de menor tamaño con hojas azuladas y marchitas. La disponibilidad de agua también juega un papel crucial en la absorción de nutrientes esenciales como el K^+ , Cl^- y NO_3^- . Durante periodos de sequía, esta absorción se ve restringida, lo que puede llevar a la planta a activar mecanismos de autorregulación, como la excreción de estos iones a través de las vacuolas. Sin embargo, este proceso conlleva un costo energético y metabólico para la planta, incrementando sus necesidades de carbohidratos y la tasa de respiración, por otro lado, la escasez de Na puede desencadenar síntomas como clorosis, necrosis e inhibición de la floración. Además, el Na puede interferir con la función del potasio (K), crucial en la regeneración de fosfoenolpiruvato y como cofactor en numerosas enzimas, como la piruvato-quinasa. Para mantener un equilibrio óptimo, las concentraciones ideales de Na y K oscilan entre 1200 ppm y 1 a 5 % respectivamente, garantizando así una adecuada turgencia

celular y un desarrollo vegetal saludable (Correndo y García, 2012, p. 4; Mengel y Kirkby, 2000, p. 209-211; Navarro y Navarro, 2003, p. 419; Pérez, 2017, p. 10-38-124).

Los resultados presentados en la tabla 4-18 revelan diferencias significativas, con un nivel de confianza del 95 %, en las concentraciones de Na y K en las diferentes muestras estudiadas. En el caso del Na, se observa cuatro grupos. El grupo “a”, conformado por las muestras F2 y F4, muestran concentraciones de Na de 973,02 y 953,81 ppm respectivamente, que se sitúan por debajo de los niveles óptimos. Por el contrario, los grupos “b”, “c” y “ab”, representados por las muestras F1, F3, F5 y F6, exhiben concentraciones de Na de 1220,11; 1475,42; 1298,53 y 3740,52 ppm respectivamente, los cuales se encuentran dentro de un rango óptimo. Esta discrepancia sugiere que el grupo “a” podría presentar deficiencias en turgencia y floración, en contraste con los grupos restantes. Por otro lado, las concentraciones de K se dividen en seis grupos, indicados como “a”, “b”, “c”, “d”, “e” y “bc”. Estos grupos muestran valores de K que van desde 2,11 % hasta 7,55 %. Se observa una clara relación inversa entre las concentraciones de Na y K, como se evidencia en la muestra F3, donde una menor concentración de Na se correlaciona con un mayor porcentaje de K. A pesar de que algunas concentraciones de K superan el valor óptimo, no se considera tóxicas para la planta.

4.4.2.6 *Análisis y discusión de fósforo del forraje*

El fósforo (P) es un elemento esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas, siendo absorbido en forma de fosfatos (PO_4^-). Se encuentra presente en todos los tejidos de la planta en diversas formas, como azúcares fosfato, ácidos nucleicos, nucleótidos, coenzimas, fosfolípidos, fosfoprotéidos, fosfolúcidos, entre otros. La concentración óptima de P oscila típicamente entre el 0,2 y 0,5 % (Correndo y García, 2012, p. 4; Mengel y Kirkby, 2000, p. 364; Navarro y Navarro, 2003, p. 219-220; Pérez, 2017, p. 10).

Los resultados presentados en la tabla 4-18 muestran diferencias significativas a un nivel de confianza del 95 %, dividiendo los datos en cinco grupos según las concentraciones de P. Las muestras F1 y F5 pertenecen al grupo “c” con concentraciones de 2700,32 ppm (0,27 %) y 2724,12 ppm (0,27 %) respectivamente. La muestra F2 está clasificado en el grupo “e” con una concentración de 3723,05 ppm (0,37 %), mientras que la muestra F3 se encuentra en el grupo “b” con 2268,17 ppm (0,23 %). Por otro lado, la muestra F4 está en el grupo “d” con una concentración de 3493,97 ppm (0,35 %), y la muestra F6 está en el grupo “a” con 2029,64 ppm (0,20 %). Es importante destacar que todas estas concentraciones se encuentran dentro del rango

óptimo para el crecimiento y desarrollo saludable de las plantas. Sin embargo, es crucial mantener los niveles de P por encima del 0,2 %, ya que concentraciones por debajo de este umbral pueden tener repercusiones negativas en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Por otro lado, un exceso de P no representa toxicidad, pero puede causar un desequilibrio nutricional que podría afectar el desarrollo de las plantas (Correndo y García, 2012, p. 4; Mengel y Kirkby, 2000, p. 369; Navarro y Navarro, 2003, p. 231; Pérez, 2017, p. 61; Villegas y Mixquititla, 2016, p. 56).

4.4.2.7 *Análisis y discusión de carbono del forraje*

El carbono (C) es un elemento esencial para el desarrollo de las plantas, siendo absorbido del suelo o fijado desde la atmósfera en forma de dióxido de carbono (CO₂). Este elemento desempeña un papel fundamental en las funciones metabólicas y en la construcción de estructuras básicas en las plantas. La concentración óptima de C varía típicamente entre el 42 y 50 % (FAO, 2013, p. 11; Ma et al., 2018, p. 693; Pérez, 2017, p. 4-8).

Los resultados presentados en la tabla 4-18 se aprecia que no existe una diferencia significativa a un nivel de confianza del 95 %, por lo que se dividen en un solo grupo denominado “a” que muestran las concentraciones de C en las muestras F1, F2, F3, F5 y F6, que son de 40,21; 41,86; 41,06; 39,68 y 39,40 % respectivamente. Estas concentraciones se encuentran ligeramente por debajo del rango óptimo establecido. Esta discrepancia podría tener implicaciones en el crecimiento de las plantas, manifestándose síntomas como crecimiento lento, hojas amarillentas, producción reducida de frutos y flores, y una mayor susceptibilidad a enfermedades y plagas. En contraste, la muestra F4 presenta una concentración de C de 42,25 %, la cual se encuentra dentro del rango óptimo establecido para un desarrollo saludable de las plantas (Cortés, 2023, p. 1).

4.4.2.8 *Análisis y discusión de nitrógeno del forraje*

El nitrógeno (N) es un elemento esencial para el funcionamiento de las células vivas, ya que forman parte de una amplia variedad de compuestos orgánicos vitales, como aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, enzimas y clorofila. En las plantas, el N es absorbido en forma de amonio (NH₄⁺) y nitrato (NO₃⁻). Se considera que el contenido óptimo de N en las plantas oscila entre el 2 y 4 %. No obstante, es en los tejidos jóvenes donde se concentra una mayor proporción de N, alcanzando niveles de aproximadamente entre 5,5 y 6,5 % (Bonadeo et al., 2017, p. 245; Mengel y Kirkby, 2000, p. 322; Navarro y Navarro, 2003, p. 165-166).

Los resultados de la tabla 4-18 presentan una diferencia significativa con un nivel de confianza del 95 %, donde se encuentran 4 grupos denominados por “a”, “b”, “c” y “bc”, en las muestras F1, F4 y F5 corresponden al grupo “c”, mientras que la muestra F2 al grupo “bc”, el cual presenta semejanzas con los grupos “b” y “c” y el grupo “b” perteneciente a la muestra F3, los cuales exhiben concentraciones de N del 3,19; 2,99; 2,93; 2,60 y 2,28 % respectivamente, situándose dentro del rango establecido. Sin embargo, la muestra F6 del grupo “a” muestra una concentración de N de 1,46 %, considerada baja en comparación con el rango de referencia. Esta deficiencia de N se manifiesta en un amarillamiento de las hojas, crecimiento lento y rigidez. Por otro lado, un exceso de N puede resultar en un crecimiento acelerado de la planta, hojas excesivamente verdes, retraso en la maduración, rápida asimilación de nutrientes y mayor susceptibilidad a enfermedades y condiciones climáticas adversas, como heladas y sequías (Bonadeo et al., 2017, p. 262-263; Mengel y Kirkby, 2000, p. 328; Navarro y Navarro, 2003, p. 180-182).

4.4.3 Resultados de metales pesado en forraje

Tabla 4-19: Resultados de metales pesado en forraje.

Muestra	Cd		Pb	
	(ppm)		(ppm)	
F 1	0,88	bc	0,87	d
F 2	0,33	a	0,19	ab
F 3	1,39	d	0,16	a
F 4	0,81	b	0,19	ab
F 5	0,99	c	0,28	bc
F 6	0,37	a	0,31	c
F-ANOVA	102,568		159,621	
	***		***	

Realizado por: Astudillo, C; Herrera, P. 2024

F= Muestra de forraje, **Cd=** Cadmio, **Pb=** Plomo

*** Diferencia significativa con un 95 % de confianza

a, b, c, d, e. Letras pertenecientes a cada grupo

4.4.3.1 Análisis y discusión de cadmio y plomo en el forraje

Un análisis de varianza (ANOVA) revelo diferencias significativas entre las concentraciones de cadmio (Cd) y plomo (Pb) en las diferentes muestras, este estudio se realizó a un nivel de confianza del 95 % seguido de una prueba de Tukey-b. Tanto la concentración de Cd como la de Pb en el forraje analizado presentan valores que requieren atención. En el caso del Cd, todas las muestras superan el límite máximo permisible de 0,3 mg/Kg establecido por la OMS para materia vegetal (tabla 4-19), los cuales se dividen en grupos respecto a sus características, siendo estos “a”, “b”, “c”, “d” y “bc”. Respecto al Pb, si bien el límite permisible general es de 10 mg/Kg por la OMS (Muñoz, 2009, p. 17), la Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos (EPA) establece un límite más bajo de 0,89 mg/Kg para hierba (Kabata-Pendias y Pendias, 2001, p. 38-39), componente principal de forraje analizado. En este contexto, la muestra F1 se aproxima a este límite con un valor de 0,87 mg/Kg; los resultados obtenidos en estas muestras se dividen en grupos denominado “a”, “c”, “d”, “ab” y “bc”, presentando características similares en las muestras F2 y F4 (Riobamba y Colta) que son semejantes a la muestra F5 (Colta), la presencia de estos metales se pueden deber a factores geogénicos o antropogénicos como se mencionó con anterioridad en el suelo, la predisposición del Pb es elevada con pH más altos este puede encontrarse en formas de complejos, con niveles elevados de Ca²⁺ se puede generar una competencia por los espacios intercambiables entre las raíces de la planta y el suelo, en cambio el Cd es fácilmente absorbible por toda la planta, siendo menor la concentración en los cereales (Mengel y Kirkby, 2000, p. 527-529).

4.5 Comprobación de hipótesis

Tabla 4-20: Resultados del Análisis de Varianza de un Factor.

Muestra	Cd en	Pb en	Cd en	Pb en	F-T	Regla de Dedición
	Forraje	Forraje	Suelo	Suelo		
	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)		
F-ANOVA	102,568	159,621	248,945	109,0133	3,1059	F-A >F-T= R. H ₀
	***	***	***	***		

Realizado por: Astudillo, C; Herrera, P. 2024

Cd= Cadmio, Pb= Plomo

*** Diferencia significativa con un 95 % de confianza

Como se muestra en la tabla 4-20, se obtuvieron valores F calculados tras un Análisis de Varianza de un Factor para todas las muestras F y S 1, 2, 3, 4, 5 y 6 respectivamente, el cual fue mayor que el valor F tabulado de 3,1059, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, demostrando que las concentraciones de los metales pesados plomo y cadmio son

diferentes entre sí en suelo y forraje, mostrando diferencias significativas y relevantes al tener valores distanciados. Con esto se acepta la hipótesis planteada respecto a que la presencia de metales como el cadmio superan los límites permisibles por entidades reguladoras, mientras que en el caso del plomo se rechaza, a pesar de que el forraje en la muestra F1 presenta un valor de 0,87 mg/Kg el cual es cercano al límite establecido por la EPA de 0,89 mg/Kg.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

En este estudio se evaluó la concentración de cadmio (Cd) y plomo (Pb) en suelo y forraje en los cantones Colta, Penipe y Riobamba. Se encontró una presencia significativa de metales pesados en todas las muestras evaluadas. Las concentraciones de Cd superaron los límites permisibles según el acuerdo ministerial 097A en las muestras S3 y S4 de Colta, así como la muestra S5 de Penipe, mientras que el Pb se mantuvo dentro de los límites establecidos en todas las muestras. En cuanto al forraje, todas las muestras superaron los límites permisibles establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS), pero no excedieron los límites de Pb establecidos por la OMS y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA)

Durante el estudio, se identificaron múltiples fuentes y factores que contribuyen a la contaminación por cadmio (Cd) y plomo (Pb) en los cantones de Colta, Penipe y Riobamba mediante una revisión ambiental inicial. Estos incluyen tanto factores naturales, como la meteorización y la presencia de ceniza volcánica, como factores antropogénicos, tales como el uso de agroquímicos en la agricultura y la contaminación industrial y del transporte. Las actividades humanas han desempeñado un papel significativo en la introducción de Cd y Pb en el suelo y forraje de los cantones estudiados.

La caracterización de las propiedades físicas, fisicoquímicas y químicas del suelo y forraje en las áreas de estudio, lo que proporcione una comprensión detallada de la composición del suelo y la presencia de contaminantes en el entorno agrícola. Se observó una alta concentración de sodio, lo que puede generar una alta tasa de respiración celular y puede llegar a ser tóxico para la planta, los nitratos, fósforo y potasio se encuentran dentro de los valores óptimos pero los fosfatos indican niveles superiores, lo cual puede ser un indicio de aplicación de fertilizantes fosfatados, los minerales en base fosfatos poseen pequeñas cantidades de cadmio lo que puede elevar los niveles de este metal en el suelo.

En este estudio se empleó la técnica analítica de ICP-MS para cuantificar las concentraciones de cadmio (Cd) y plomo (Pb) en partes por millón (ppm) en muestras recolectadas de los cantones Colta, Penipe y Riobamba. Los resultados obtenidos revelaron variaciones significativas en las

concentraciones de metales pesados entre las diferentes localidades y tipo de muestras. Se utilizaron normativas ecuatorianas, como el acuerdo ministerial 097A, así como las pautas internacionales de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), como referencia para evaluar los niveles de contaminación. Se observó que las concentraciones de cadmio (Cd) superaron los límites permisibles tanto en el suelo como en el forraje, mientras que las concentraciones de plomo se mantuvieron por debajo de los límites permitidos.

Para el análisis estadístico de la concentración de cadmio (Cd) y plomo (Pb) se aplicó el análisis de varianza de un factor ANOVA seguido de la prueba de Tukey-b, donde se establecieron las diferencias significativas a un nivel de confianza del 95 % destacando que las muestras S3 y S4 en Colta, así como las muestras S5 y S6 en Penipe, excedieron los límites permisibles para el Cd en el suelo. Además, se observaron similitudes entre las muestras S3 y S5, y las muestras S4 y S6, mientras que las muestras S1 y S2 en Riobamba se mantuvieron dentro de los límites. En el forraje, todas las muestras superaron los límites de Cd, los cuales presentan similitudes con la muestra F1, F4 y F5, así mismo la muestra F2 y F6, mientras que todas las concentraciones de Pb estuvieron por debajo. Estos resultados resaltan la necesidad de estrategias de gestión ambiental específicas para abordar la presencia de metales pesados en los cantones estudiados

5.2 Recomendaciones

Controlar y regular el uso de agroquímicos en la agricultura para reducir la contaminación del suelo y forraje.

Monitorear regularmente la calidad del suelo y el forraje para detectar cualquier aumento en las concentraciones de metales pesados y tomar medidas preventivas.

Educar a la población local sobre los riesgos que se encuentran asociados a la exposición a metales pesados y promover prácticas agrícolas sostenibles.

Fomentar la investigación continua sobre las fuentes y efectos de la contaminación por metales pesados, para llevar a cabo investigaciones que aborden a los distintos productos agrícolas cultivados en los diferentes cantones, con el fin de determinar posibles riesgos para la salud de la población.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ANDRADE, Gabriela., ANDRADE, María., SUÁREZ, Andrés., BAUTISTA, Hugo. & HARO, Andrés.** “Impacto socioeconómico de la ganadería lechera en comunidades indígenas del Ecuador”. *EASI: Ingeniería y Ciencias Aplicadas en la Industria* [en línea], 2023, (Ecuador) vol. 2, no. 1, pp. 34-43. [Consulta: 6 enero 2024]. ISSN 2953-6634. DOI 10.53591/easi.v2i1.1907. Disponible en: <https://repositorio.ug.edu.ec/server/api/core/bitstreams/d4ea49aa-a5f1-432e-829f-17ddf1a89bda/content>.
2. **ANDRADES, María. & MARTÍNEZ, Elena.** *Fertilidad del suelo y parámetros que la definen* [en línea]. 4ª ed. España: S.l.: Universidad de La Rioja. 2022. [Consulta: 6 marzo 2024]. ISBN 978-84-09-36238-7. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=267902>.
3. **ANDRADES, Marisol., MOLINER, Ana. & MASAGUER, Alberto.** *Prácticas de Edafología Métodos didácticos para análisis de suelos.* [en línea]. 1ª ed. S.l.: Universidad de La Rioja. 2015. [Consulta: 29 febrero 2024]. ISBN 978-84-608-5117-2 Disponible en: <https://publicaciones.unirioja.es/catalogo/monografias/mdaa15.shtml>.
4. **ASITIMBAY MULLO, Alex David. & YUMISEBA VIMOS, Mishel Andrea.** *Estudio de biorremediación de metales pesados por actividades agropecuarias en el cantón Mocha a causa de la ceniza volcánica* [en línea]. (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas. Riobamba-Ecuador. 2022. pp. 23 [Consulta: 17 noviembre 2023]. Disponible en: <http://dspace.epoch.edu.ec/handle/123456789/17610>.
5. **BAEZ, Antonio.; HERNÁNDEZ, Carmelo.; MARTÍNEZ, Javier.; MUNIVE, Antonio.; RAMÍREZ, Verónica., ROSAS, Nora. & QUINTERO, Verónica.** “Los metales pesados en la historia de la humanidad, los efectos de la contaminación por metales pesados y los procesos biotecnológicos para su eliminación: el caso de Bacillus como bioherramienta para la recuperación de suelos”. *AyTBUAP* [en línea], 2022, (México), vol. 7 (27), pp. 1-68. [Consulta: 5 mayo 2024]. Disponible en: *AyT BUAP - Los metales pesados en la historia de la humanidad,*
6. **BAUTISTA, Francisco.** *Introducción al Estudio de la Contaminación del Suelo por Metales Pesados.* 1ª ed. Mérida-México: Universidad Autónoma De Yucatán. 1999. ISBN 968-7556-82-X, pp. 20-22.
7. **BOHN, Hinrich.; MCNEAL, Brian. & O’CONNOR, George.** *Química del suelo.* 3ª ed. México. D. F.-México. S.l.: LIMUSA-EDITORIAL. 1993. ISBN 968-18-4431-9, pp. 1-333.
8. **BONADEO, Elena., MORENO, Inés., BONGIOVANNI, Marcos., MARZARI, Rosana. & GANUM, María.** *El sistema suelo-planta. Principios generales* [en línea]. 1ª ed. Río Cuarto-Argentina: S.l.: UniRío editora. Universidad Nacional de Río Cuarto, 2017.

[Consulta: 23 marzo 2024]. ISBN 978-987-688-204-0. Disponible en: el sistema suelo planta (studylib.es)

9. **BOSCH, Matías., COSTA, José., CABRÍA, Fabián. y APARICIO, Virginia.** “Relación entre la variabilidad espacial de la conductividad eléctrica y el contenido de sodio en el suelo”. *Ciencia del suelo* [en línea], 2012, (Argentina), vol. 30 (2), pp. 95-105. [Consulta: 21 enero 2024]. ISSN 0326-3169. Disponible en: Relación entre la variabilidad espacial de la conductividad eléctrica y el contenido de sodio en el suelo - Dialnet (unirioja.es)
10. **BUSTILLOS, Jorge., ROMERO, Jorge, GUEVARA, Alicia. & DÍAZ, Juan.** “Tephra fallout from the long-lasting Tungurahua eruptive cycle (1999-2014): Variations through eruptive style transition and deposition processes”. *Andean Geology* [en línea], 2018, vol. 45 (1), pp. 47-77. [Consulta: 18 noviembre 2023]. ISSN 07187092. DOI 10.5027/andgeov45n1-3036. Disponible en: (PDF) Tephra fallout from the long-lasting Tungurahua eruptive cycle (1999-2014): Variations through eruptive style transition and deposition processes (researchgate.net)
11. **CALERO, Verónica.** Contaminación de metales pesados en el Ecuador, un análisis químico, ambiental, toxicológico, normativo y analítico [en línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Politécnica Salesiana. Quito-Ecuador. 2023. pp. 22-34. [Consulta: 12 enero 2024]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/26409>
12. **CHANCUSIG, Diana.** Evaluación de las propiedades físicas y químicas del suelo en Acacia (*Acacia melanoxylon*) con la siembra en contorno de cuatro leguminosas, en entisoles de terraza de banco, campus Salache, 2022 [en línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Técnica de Cotopaxi, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Escuela de Ingeniería en Agronomía. Latacunga-Ecuador. 2022. pp. 41. [Consulta: 21 enero 2024]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/9443>
13. **CHUQUÍN, Cristian., GAVILANES, Irene. & VALVERDE, Víctor.** *Técnicas de Análisis de Laboratorio para Caracterización de Suelos, Residuos Orgánicos, Compost y Alimentos* [en línea]. 1ª ed. La Plata-Argentina: Puerto Madero Editorial, 2023. [Consulta: 21 enero 2024]. ISBN 9786316557032. Disponible en: <https://puertomaderoeditorial.com.ar/index.php/pmea/catalog/view/37/155/265>
14. **CORRENDO, Adrián. & GARCÍA, Fernando.** “Concentración de nutrientes en planta como herramienta de diagnóstico: Cultivos extensivos”. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica (LACS)* [en línea], 2012, (Argentina), vol. 1 (5), pp. 1-7. [Consulta: 7 abril 2024]. Disponible en: [http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/0/DDBAEC0992C9039F852579B3005ACE5D/\\$FILE/AA%2014.pdf](http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/0/DDBAEC0992C9039F852579B3005ACE5D/$FILE/AA%2014.pdf)

15. **CORTÉS, Amanda.** *Agricultura Wiki*. [blog]. 2023. [Consulta: 10 abril 2024]. Disponible en: <https://agriculturawiki.com/que-provoca-la-falta-de-carbono-en-las-plantas-descubren-las-consecuencias-de-la-escasez-de-carbono-en-tus-plantas/>
16. **CUETO, José., QUIROGA, Héctor. & BECERRA, Carmen.** Nitrógeno disponible y desarrollo del ballico anual. i. producción, calidad del forraje y acumulación de nitratos. *Terra Latinoamericana* [en línea], 2003, vol. 21 (2), pp. 285-295. [Consulta: 7 abril 2024]. ISSN 2395-8030. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57315595014>
17. **DE LA CUEVA, Francisco., NARANJO, Alexandra., PUGA, Byron. & ARAGÓN, Eduardo.** Presencia de metales pesados en leche cruda bovina de Machachi, Ecuador. *La Granja* [en línea], 2021, vol. 33 (1), pp. 21-30. [Consulta: 17 noviembre 2023]. ISSN 1390-8596. DOI 10.17163/lgr.n33.2021.02. Disponible en: <https://lagranja.ups.edu.ec/index.php/granja/article/view/33.2021.02>
18. **DIRECCIÓN DE MONITOREO DE EVENTOS ADVERSO.** SitRep No. 02 – Actividad Volcánica Sangay . [en línea]. Samborondón, 2023. [Consulta: 5 mayo 2024]. Disponible en: <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/2023/05/SITREP-Sangay-Nro.02-del-01012023-al-10052023-1.pdf>.
19. **EQUIPO TÉCNICO DE DIRECCIÓN DE MONITOREO DE EVENTOS ADVERSOS.** Informe de situación No. 15 (10/03/2016) Actividad Volcánica - Tungurahua. [en línea]. Samborondón, 2016. [Consulta: 5 mayo 2024]. Disponible en: <https://reliefweb.int/report/ecuador/informe-de-situacion-no-15-actividad-volcanica-tungurahua>
20. **EQUIPO TÉCNICO DE LA DIRECCIÓN DE MONITOREO DE EVENTOS ADVERSOS.** Informe de Situación – Actividad Volcánica. [en línea]. Samborondón, 2021. [Consulta: 5 mayo 2024]. Disponible en: <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/2021/03/SITREP-15-AVO-Sangay-31032021.pdf>
21. **FAO.** *EL Manejo Del Suelo En La Producción De Hortalizas Con Buenas Prácticas Agrícolas*. [en línea]. Paraguay: S.l.: FAO, 2013. [Consulta: 10 abril 2024]. ISBN 978-92-5-307783-0. Disponible en: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/8d73b16d-e97f-4a91-8deb-65f0558a8e6b/content>
22. **FAO.** Propiedades Físicas | Portal de Suelos de la FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. [en línea]. 2017a. [Consulta: 29 febrero 2024]. Disponible en: <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>

23. **FAO.** Propiedades Químicas| Portal de Suelos de la FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. [en línea]. 2017b. [Consulta: 23 marzo 2024]. Disponible en: <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/>
24. **FASSBENDER, Hans. & BORNEMISZA, E.** *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina* [en línea]. 2ª ed. San José-Costa Rica: S.l.: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), 1987. [Consulta: 27 marzo 2024]. ISBN 92-9039-124-3. Disponible en: <https://repositorio.iica.int/handle/11324/6801>
25. **FERTILAB.** Comportamiento del Cloro (Cl) en los Suelos y Plantas. [en línea]. México, 2022. [Consulta: 3 abril 2024]. Disponible en: <https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/Comportamiento%20del%20Cloro%20en%20Suelos%20y%20Planta.pdf>
26. **FERTILAB.** NTF 19-014 La textura y la fertilidad del suelo. [en línea]. México, 2023. [Consulta: 27 febrero 2024]. Disponible en: <https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/NT-19-014-La-textura-y-la-fertilidad-del-suelo.pdf>
27. **FORSYTHE, Warren.** *Manual de laboratorio: física de suelos* [en línea]. 1ª ed. San José-Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), 1985. [Consulta: 21 enero 2024]. ISBN 92-9039-052-2. Disponible en: <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/7841/BVE19040149e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
28. **GADM COLTA.** Ubicación Geográfica [en línea]. Colta, 2018. [Consulta: 11 enero 2024]. Disponible en: <https://gadcolta.gob.ec/gadcolta/index.php/turismo/patrimonio/historico/9-colta>
29. **GADM PENIPE.** Ubicación Geográfica [en línea]. Penipe, 2016. [Consulta: 11 enero 2024]. Disponible en: <https://www.penipe.gob.ec/index.php/canton>
30. **GADM RIOBAMBA.** Ubicación Geográfica [en línea]. Riobamba, 2023. [Consulta: 11 enero 2024]. Disponible en: <https://experience.arcgis.com/experience/b023006af3334d16ba9cff9d746af31d/page/Inicio/?draft=true&views=View-1-copy-copy&org=gadmriobamba>
31. **GADMC COLTA.** Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Colta. [en línea]. Colta, 2019. [Consulta: 23 abril 2024]. Disponible en: https://drive.google.com/file/d/1_x3sreY4WWSTmnymmzcM3foF1XBIQNA8/view

32. **GADMC PENIPE.** Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Penipe. [en línea]. Penipe, 2016. [Consulta: 23 abril 2024]. Disponible en: <https://www.penipe.gob.ec/index.php/canton/plan-de-desarrollo-y-ordenamiento-territorial-del-canton-penipe>
33. **GADMC RIOBAMBA.** Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Riobamba. [en línea]. Riobamba, 2020. [Consulta: 23 abril 2024]. Disponible en: <https://www.gadmriobamba.gob.ec/index.php/ordenamiento-territorial/plan-pdyot-2020-2030#>
34. **GALÁN, Emilio. & ROMERO, Antonio.** “Contaminación de Suelos por Metales Pesados”. *Macla* [en línea], 2008, (España), vol. 1 (10), pp. 48-60. [Consulta: 8 enero 2024]. ISSN 1885-7264. Disponible en: https://www.semineral.es/websem/PdfServlet?mod=archivos&subMod=publicaciones&archivo=Macla10_48.pdf
35. **GARCÍA, Carlos., MORENO, José., HERNÁNDEZ, Teresa. & POLO, Alfredo.** *Metales pesados y sus implicaciones en la calidad del suelo* [en línea]. S.l.: CSIC - Centro de Ciencias Medioambientales (CCMA), 2002. [Consulta: 17 enero 2024]. ISBN 84-699-7972-8. Disponible en: <https://digital.csic.es/handle/10261/111812>
36. **GEILFUS, Christoph.** “Chloride: from Nutrient to Toxicant”. *Plant and Cell Physiology* [en línea], 2018, vol. 59 (5), pp. 877-886 ISSN 0032-0781. DOI 10.1093/pcp/pcy071. Disponible en: <https://academic.oup.com/pcp/article/59/5/877/4961961?login=false>
37. **GISBERT, Juan, IBAÑEZ, Sara. & MORENO, Héctor.** “La textura del suelo”. *Universitat Politècnica de València* [en línea], 2010, (España), pp. 1-8. [Consulta: 27 febrero 2024]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10251/7775>
38. **GOETSCHEL, Lorena.** Los Metales Pesados: un Desafío para la Inocuidad Alimentaria en el Ecuador [en línea]. Quito: Universidad de las Américas, 2018. [Consulta: 12 enero 2024]. Disponible en: <https://www.udla.edu.ec/wp-content/uploads/2019/02/Los-Metales-Pesados-un-Desaf%23U00edo-para-la-Inocuidad-Alimentaria-en-el-Ecuador-Lorena-Goetschel.pdf>
39. **GÓMEZ, Verónica.** Estudio de elementos esenciales y tóxicos en microalgas: uso de *Chlorella sorokiniana* en la preparación de alimentos funcionales [en línea]. (Trabajo de titulación) (Doctoral). Universidad de Huelva, Facultad de Ciencias Experimentales, Departamento de Química y Ciencia de los Materiales. Huelva-Española. 2015. pp. 17. [Consulta: 21 enero 2024]. Disponible en: <https://rabida.uhu.es/dspace/handle/10272/11711>
40. **GONZALES, Kevin.** *Zoovet* [blog]. Colombia, 2023. [Consulta: 10 diciembre 2023]. Disponible en: https://zoovetesmpasion.com/pastos-y-forrajes/que-son-los-forrajes#Que_son_los_Forrajes

41. **HALL, Minard., ROBIN, Claude., BEATE, Bernardo., MOTHEs, Patricia. & MONZIER, Michel.** “Tungurahua Volcano, Ecuador: structure, eruptive history and hazards”. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* [en línea], 1999, (Ecuador) vol. 91 (1), pp. 1-21. [Consulta: 22 enero 2024]. ISSN 03770273. DOI 10.1016/S0377-0273(99)00047-5. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377027399000475>
42. **HERNÁNDEZ, Audelia.** Revisión ambiental inicial, previa a la implantación de la norma ISO 14001 en el sitio de disposición final en Bacenas Villa Nueva [en línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de Estudios de Postgrado, Guatemala-Guatemala. 2008. pp. 10-11. [Consulta: 6 mayo 2024]. Disponible en: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/7777/>
43. **HERRERA, Melisa.** Estimación del contenido de carbono en suelos con diferentes usos en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano [en línea]. (Trabajo de titulación). Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano-Honduras. 2017. pp. 17. [Consulta: 27 marzo 2024]. Disponible en: <https://bdigital.zamorano.edu/items/e2d81041-5ec0-4df6-b13c-8ff847235749>
44. **HERRERÍA, María.** Análisis térmico y evolución morfológica de los Domos Ñuñurco y Cráter Central de la cumbre del volcán Sangay, Morona Santiago, 2003-2019 [en línea]. (Trabajo de titulación). Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería en Geología y Petróleos. Quito-Ecuador. 2021. pp. 35. [Consulta: 21 enero 2024]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21880>
45. **INSTITUTO GEOFÍSICO.** Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (EPN). [en línea]. Quito, 2011. [Consulta: 5 mayo 2024]. Disponible en: <https://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/397-alerta-naranja-para-zonas-de-influencia-del-volc%C3%A1n-tungurahua>
46. **INSTITUTO GEOFÍSICO.** Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (EPN). [en línea]. Quito, 2023. [Consulta: 10 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.igepn.edu.ec/preguntas-frecuentes>
47. **INSTITUTO GEOFÍSICO.** Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (EPN), Sangay. [en línea]. Quito, 2015. [Consulta: 11 enero 2024]. Disponible en: <https://www.igepn.edu.ec/sangay>
48. **IPIALES, Oscar. & CUICHÁN, Maritza.** INEC - Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) [en línea]. Quito, 2023 [consulta: 7 enero 2024]. Disponible en: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web->

inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac_2022/Bolet%C3%ADn_tecnico_ESPAC_2022.pdf

49. **JARAMILLO, Daniel.** *Introducción a la Ciencia del Suelo* [en línea]. Medellín-Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2002. [Consulta: 21 enero 2024]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/70085>

50. **JIMÉNEZ, Raimundo.** *Introducción a la contaminación de suelos* [en línea]. Madrid-España: Ediciones Mundi-Prensa, 2017. [Consulta: 7 enero 2024]. ISBN 978-84-8476-789-3. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=iZg6DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=fuentes+de+CONTAMINACION+DEL+SUELO+&ots=i6HuUm5t2u&sig=RLXt7dgbhmm40uZxAWQNJq7140#v=onepage&q&f=true>

51. **JOHNSON, J.B., ASTER, R.C., RUIZ, M.C., MALONE, S.D., MCCHESENEY, P.J., LEES, J.M. & KYLE, P.R.** “Interpretation and utility of infrasonic records from erupting volcanoes”. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* [en línea], 2003, (United State of America), vol. 121(1-2), pp. 15-63. [Consulta: 12 enero 2024]. ISSN 03770273. DOI 10.1016/S0377-0273(02)00409-2. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377027302004092>

52. **KABATA-PENDIAS, Alina. & PENDIAS, Henryk.** *Trace Elements in Soils and Plants* [en línea]. 3ª ed. New York-USA: CRC Press, 2001. [Consulta: 11 abril 2024]. ISBN 0-8493-1575-1. Disponible en: <http://base.dnsgb.com.ua/files/book/Agriculture/Soil/Trace-Elements-in-Soils-and-Plants.pdf>

53. **LÓPEZ, Patricia.** Indagan la composición de la materia orgánica del suelo [en línea]. México, 2020. [Consulta: 2 abril 2024]. Disponible en: <https://www.gaceta.unam.mx/indagan-la-composicion-de-la-materia-organica-del-suelo/#:~:text=La%20materia%20org%C3%A1nica%20est%C3%A1%20compuesta,micronutrientes%20esenciales%20para%20las%20plantas.>

54. **MA, Suhui., HE, Feng., TIAN, Di., ZOU, Dongting., YAN, Zhengbing., YANG, Yulong., ZHOU, Tiancheng., HUANG, Kaiyue., SHEN, Haihua. & FANG, Jingyun.** “Variations and determinants of carbon content in plants: a global synthesis”. *Biogeosciences* [en línea], 2018, vol. 15 (3), pp. 693-702. [Consulta: 10 abril 2024]. ISSN 1726-4189. DOI 10.5194/bg-15-693-2018. Disponible en: <https://bg.copernicus.org/articles/15/693/2018/bg-15-693-2018.pdf>

55. **MARTÍNEZ, Lourdes. & SOTO, Gisella.** Determinación de plomo en leche cruda de vaca del distrito de Ihuari – Huaral – 2019 [en línea]. (Trabajo de titulación). Universidad María Auxiliadora, Facultad de Ciencias de la Salud, Escuela Profesional de Farmacia y Bioquímica. Lima-Perú. 2019. pp. 34-35. [Consulta: 11 abril 2024]. Disponible en: <https://repositorio.uma.edu.pe/handle/20.500.12970/217>

56. **MENGEL, Konrad. & KIRKBY, Ernest.** *Principios Nutrición Vegetal* [en línea]. 4ª ed. Basilea-Suiza: Instituto Internacional de la Potasa, 2000. [Consulta: 12 enero 2024]. Disponible en: https://www.academia.edu/38985839/Mengel_Principios_de_Nutricion_Vegetal
57. **MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA.** Producción pecuaria - INEC. [en línea]. Quito, 2022. [Consulta: 16 noviembre 2023]. Disponible en: <https://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/sipa-estadisticas/estadisticas-productivas>
58. **MINISTERIO DEL AMBIENTE.** Registro Oficial -- Edición Especial N° 387. [en línea]. Quito, 2015. [Consulta: 21 enero 2024]. Disponible en: https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015_0.pdf
59. **MONZIER, Michel., ROBIN, Claude., SAMANIEGO, Pablo., HALL, Minard.L., COTTEN, Jo., MOTHEs, Patricia. & ARNAUD, Nicolas.** “Sangay volcano, Ecuador: structural development, present activity and petrology”. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* [en línea], 1999, (Ecuador), vol. 90 (1-2), pp. 49-79. [Consulta: 12 enero 2024]. ISSN 03770273. DOI 10.1016/S0377-0273(99)00021-9. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377027399000219>
60. **MORALES, Victoria. & ERAZO, Erika.** Evaluación de la incidencia de la ceniza del volcán Tungurahua y su impacto ambiental en suelos agrícolas de las provincias de Tungurahua y Chimborazo [en línea]. (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería en Biotecnología Ambiental. Riobamba-Ecuador. 2020. pp. 17 [Consulta: 16 diciembre 2023]. Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/bitstream/123456789/14491/1/236T0508.pdf>
61. **MOYANO, Carolina. & PAGALO, Jenny.** Cuidados de enfermería en pacientes con cáncer de mama en atención primaria [en línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Nacional de Chimborazo, Facultad de Ciencias de la Salud, Escuela de Enfermería. Riobamba-Ecuador. 2018. pp. 2 [Consulta: 18 noviembre 2023]. Disponible en: <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/5525>
62. **MUÑOZ, Nicolás.** Determinación de plomo y cadmio en hierbas medicinales [en línea]. (Trabajo de titulación). Universidad de Belgrano, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Escuela de Farmacia. Buenos Aires-Argentina. 2009. pp. 17. [Consulta: 11 abril 2024]. Disponible en: http://190.221.29.250/bitstream/handle/123456789/1644/275_Tesina%252520Munoz.pdf?squence=1&isAllowed=y

63. **NAVARRO, Ginés. & NAVARRO, Simón.** *Química Agrícola: El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal* [en línea]. 2ª ed. Madrid-España: Mundi-Prensa, 2003. [Consulta: 20 marzo 2024]. ISBN 84-8476-155-X. Disponible en: https://www.academia.edu/11618245/Qu%C3%ADmica_Agr%C3%ADcola_Segunda_Edici%C3%B3n
64. **NAVARRO, Ginés., PÉREZ, Gabriel. & NAVARRO, Simón.** *Análisis de suelos y aguas Aplicación agrícola* [en línea]. Madrid-España: Dextra Editorial, 2022. [Consulta: 19 marzo 2024]. ISBN 978-84-17946-91-3. Disponible en: <https://elibro-net.proxy.esPOCH.edu.ec/es/ereader/esPOCH/228505?page=8>
65. **OMS.** Ecuador: Informe de situación - Volcan Tungurahua - 17 de agosto de 2006. [en línea], 2006. [Consulta: 11 noviembre 2023]. Disponible en: <https://reliefweb.int/report/ecuador/ecuador-informe-de-situaci%C3%B3n-volcan-tungurahua-17-de-agosto-de-2006>
66. **ORDÓÑEZ, J., VALLEJO, S., BUSTILLOS, J., HALL, M., ANDRADE, D., HIDALGO, S. & SAMANIEGO, P.** Volcán Sangay, peligros volcánicos potenciales. IG-EPN/IRD. Escala 1:100.000. [en línea]. Quito, 2011. [Consulta: 21 enero 2024]. Disponible en: <https://www.igepn.edu.ec/sangay-mapa-de-amenaza-volcanica>
67. **ORTEGA, Fernando. & SOLIS, Marcela.** Determinación de la presencia de microplásticos y plomo en muestras de leche cruda [en línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Politécnica Salesiana Ecuador, Facultad de Ciencias, Escuela de Biotecnología. Cuenca-Ecuador. 2023. pp. 85-86. [Consulta: 12 enero 2024]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25964>
68. **PARRA, René., BERNARD, Benjamín., NARVÁEZ, Diego., LE PENNEC, Jean.-Luc., HASSELLE, Nathalie. & FOLCH, Arnau.** “Eruption Source Parameters for forecasting ash dispersion and deposition from vulcanian eruptions at Tungurahua volcano: Insights from field data from the July 2013 eruption”. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* [en línea]. 2016, (Ecuador), vol. 309, pp. 1-13. [Consulta: 22 enero 2024]. ISSN 03770273. DOI 10.1016/j.jvolgeores.2015.11.001. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377027315003674>
69. **PAYAHUALA, Marcelo.** Efecto de la aplicación de tres estrategias de mejoramiento de praderas y su impacto en el estado estructural del suelo [en línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Austral de Chile, Escuela de Agronomía. Valdivia-Chile. 2009. pp. 19. [Consulta: 21 enero 2024]. Disponible en: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/fap343e/doc/fap343e.pdf>
70. **PÉREZ, Fernando.** *Fisiología Vegetal Parte III Nutrición Mineral*. [en línea]. Pucallpa-Perú: Universidad Nacional de Ucayali, 2017. [Consulta: 2 abril 2024]. Disponible en: <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/3201>

71. **PÉREZ, Julián. & MERINO, María.** Forraje - Qué es, definición, ventajas y tipos [en línea]. 2022. [Consulta: 10 diciembre 2023]. Disponible en: <https://definicion.de/forraje/>
72. **POZO, Francisco.** “Presencia de metales pesados Cadmio y Plomo en el estuario del río Chone Manabí, Ecuador”. *CIENCIA UNEMI* [en línea], 2017, (Ecuador), vol. 10 (24), pp. 123-130. [Consulta: 12 enero 2024]. ISSN 2528-7737. DOI 10.29076/issn.2528-7737vol10iss24.2017pp123-130p. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=582675689013>
73. **RAGHOTHAMA, K.G.** “Phosphate acquisition”. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* [en línea], 1999, (United State of America), vol. 50 (1), pp. 665-693. [Consulta: 12 abril 2024]. ISSN 1040-2519. DOI 10.1146/annurev.arplant.50.1.665. Disponible en: <https://www.annualreviews.org/content/journals/10.1146/annurev.arplant.50.1.665>
74. **ROMERO, Braulio.** Contaminación por metales pesados en alimentos en Ecuador: Meta-análisis [en línea]. (Trabajo de titulación). Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Naturales, Escuela de Ingeniería Ambiental. Guayaquil-Ecuador. 2020. pp. 48-57. [Consulta: 4 enero 2024]. Disponible en: <https://repositorio.ug.edu.ec/items/495509e3-c0b1-48c8-b445-70f108cd71b0>
75. **SAMANIEGO, P., LE PENNEC, J., BARBA, D., HALL, M., ROBIN, C., MOTHES, P., YEPES, H., TRONCOSO, L. & JAYA, D.** Mapa de Amenaza Tungurahua Vigente. IG-EPN/IRD. Escala 1:50.000. [en línea]. Quito, 2008. [Consulta: 21 enero 2024]. Disponible en: <https://www.igepn.edu.ec/tungurahua-mapa-de-amenaza-volcanica>
76. **SAMANIEGO, Pablo., LE PENNEC, Jean.-Luc., ROBIN, Claude. & HIDALGO, Silvana.** “Petrological analysis of the pre-eruptive magmatic process prior to the 2006 explosive eruptions at Tungurahua volcano (Ecuador)”. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* [en línea], 2011, (Ecuador), vol. 199 (1-2), pp. 69-84. [Consulta: 22 enero 2024]. ISSN 03770273. DOI 10.1016/j.jvolgeores.2010.10.010. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377027310003203>
77. **SECRETARÍA DE GESTIÓN DE RIESGOS.** Fortalecimiento del conocimiento volcánico en el Ecuador para disminuir el riesgo de desastre en la población [en línea]. Guayaquil, 2023. [Consulta: 11 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/02/SNGRE-Fortalecimiento-conocimiento-volcanico-ene23.pdf>
78. **SHARMA, Ramandeep.K., COX, Michael.S., OGLESBY, Camden. & DHILLON, Jagmandeep.S.** “Revisiting the role of sulfur in crop production: A narrative review”. *Journal of Agriculture and Food Research* [en línea], 2024, (United State of America) vol.

15, pp. 1-17. [Consulta: 8 abril 2024]. ISSN 26661543. DOI 10.1016/j.jafr.2024.101013. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666154324000504>

79. **SOTO, Emma., HERNÁNDEZ, Maricela., ZENDEJAS, Héctor., ORTIZ, Elvia. & GARCÍA, Elizabeth.** "Evaluación del contenido de materia orgánica en suelos agrícolas y su relación carbono/nitrógeno". *Revista Iberoamericana de Ciencias* [en línea], 2016, (México), vol. 3 (5), pp. 95-105. [Consulta: 25 marzo 2024]. ISSN 2334-2501. Disponible en: <http://reibci.org/publicados/2016/oct/1800105.pdf>
80. **TAYLOR, H.E. & LICHTER, F.E.** "Chemical composition of Mount St. Helens volcanic ash". *Geophysical Research Letters* [en línea], 1980, (United State of America) vol. 7 (11), pp. 949-952. [Consulta: 12 enero 2024]. ISSN 0094-8276. DOI 10.1029/GL007i011p00949. Disponible en: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1029/GL007i011p00949>
81. **THOMSON & JOSEPH LTD.** An interpretation of the forage mineral report. [en línea]. Reino Unido, 2011. [Consulta: 3 abril 2024]. Disponible en: https://www.tandj.co.uk/_scripts/kcfinder/upload/files/Interpretation%20of%20Forage%20Mineral%20Report.pdf
82. **TRINIDAD, A. & VELASCO, J.** "Importancia de la materia orgánica en el suelo". *Agro Productividad* [en línea], 2016, (México), vol. 9 (8), pp. 52-58. [Consulta: 6 marzo 2024]. ISSN 2594-0252. Disponible en: <https://www.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/802>
83. **USDA.** *Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo* [en línea]. Washington DC: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, 1999. [Consulta: 29 febrero 2024]. Disponible en: <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/Gu%C3%ada%20para%20la%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20la%20Calidad%20y%20Salud%20del%20Suelo.pdf>
84. **VALDÉS, Analía., MARTÍ, Luis., FILIPPINI, María. & SALCEDO, Carlos.** "Determinación de nitratos en vegetales : comparación de cuatro métodos analíticos". *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias* [en línea], 2004, (Argentina), vol. 36 (1), pp. 21-28. [Consulta: 7 abril 2024]. ISSN 0370-4661. Disponible en: https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/153/ValdesAgrarias1-04.PDF
85. **VALENCIA, Jenny.** Sistematización de prácticas para la gestión del riesgo por la erupción del volcán Tungurahua. [en línea]. Roma, FAO, 2010. [Consulta: 7 abril 2024]. Disponible en: <https://www.fao.org/4/am028s/am028s.pdf>
86. **VILLA, Magdalena., VALENCIA, Ernesto., IBARRA, Marco. & ULERY, April.** "Absorción y traslocación de sodio y cloro en plantas de Chile fertilizadas con nitrógeno y crecidas con estrés salino". *Artículo Científico Rev. Fitotec. Mex* [en línea], 2006, (México),

vol. 29 (1), pp. 79-88. [Consulta: 4 abril 2024] ISSN 0187-7380. Disponible en: <https://doi.org/10.35196/rfm.2006.1.79>



87. **VILLASEÑOR, Diego.** *Fundamentos y procedimientos para análisis físicos y morfológicos del suelo.* [en línea]. Machala-Ecuador: Universidad Técnica de Machala, 2016. [Consulta: 27 febrero 2024]. ISBN 978-9942-24-082-8. Disponible en: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/10690>
88. **VILLEGAS, Óscar. & MIXQUITITLA, Gabriela.** “Importancia de los fosfatos y fosfitos en la nutrición de cultivos”. *Acta Agrícola y Pecuaria* [en línea], 2016, (México), vol. 2 (3), pp. 55-61. [Consulta: 9 abril 2024]. ISSN 2448-7090. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6201359>
89. **VULLO, Diana.** “Microorganismos y metales pesados: una interacción en beneficio del medio ambiente”. *Química Viva* [en línea], 2003, (Argentina), vol. 2 (3), pp. 91-104. [Consulta: 23 abril 2024]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86320303>
90. **WADA, Koji.** “Minerals formed and mineral formation from volcanic ash by weathering”. *Chemical Geology* [en línea], 1987, (Japón), vol. 60 (1-4), pp. 17-28. [Consulta: 11 noviembre 2023]. ISSN 00092541. DOI 10.1016/0009-2541(87)90106-9. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0009254187901069>
91. **ZHOU, Xuewei., ZHENG, Nan., SU, Chuanyou., WANG, Jiaqi. & SOYEURT, Héléne.** “Relationships between Pb, As, Cr, and Cd in individual cows’ milk and milk composition and heavy metal contents in water, silage, and soil”. *Environmental Pollution* [en línea], 2019, (China), vol. 255, pp. 1-26. ISSN 18736424. DOI 10.1016/j.envpol.2019.113322. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749119333391>



ANEXOS

ANEXO A: ENCUESTA PLANTEADA A LOS MORADORES DEL CANTÓN COLTA, PENIPE Y RIOBAMBA

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Facultad de Ciencias
GRUPO ASOCIADO DE INVESTIGACIÓN EN BIOTECNOLOGÍA
AMBIENTE Y QUÍMICA
GAIBAQ

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: _____

Indicaciones: Por favor responda las siguientes preguntas teniendo en cuenta su experiencia personal. Marque con una X su respuesta.

SECTOR LÁCTEO

Nombre de la Empresa: _____ **Ciudad:** _____
Persona de Contacto: _____

Factor Socioeconómico

1. Número de trabajadores 3 5 7 o más

2. ¿Qué tipo de especies cría actualmente?

ESPECIE	NÚMERO	Criollo	Mejorado
GANADO BOVINO DE LECHE	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
GANADO BOVINO DE CARN	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

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

Con cuantos proveedores cuenta regularmente

RESIDUOS DEL SECTOR LACTEO

11. ¿Considera Ud. que el lactosuero es un residuo?

Sí No



13. ¿Cuál es la disposición final del Lactosuero?

Lo reutiliza

Lo vende

Lo desecha a la alcantarilla

Otro uso, ¿Cuál? _____

Le da un tratamiento previo a su disposición final

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?

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

Holstein-Friesian _____
Brown Swiss _____
Guernsey _____
Jersey _____
Otro, cuál? _____



OTROS:
(información adicional que considere importante)

23. _____

EQUIPO GAIBAQ

LEVANTAMIENTO DE INFORMACION A CARGO DE: _____

ANEXO B: LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN MEDIANTE ENCUESTAS



Ilustración 1: Socialización del estudio y realización de encuestas.



Ilustración 2: Socialización del estudio y realización de encuestas.

ANEXO C: RECOLECCIÓN DE MUESTRAS



Ilustración 3: Recolección de muestras.



Ilustración 4: Recolección de muestras.



Ilustración 5: Muestras recolectadas.



Ilustración 6: Traslado de muestras.

ANEXO D: PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS



Ilustración 7: Secado del forraje a temperatura ambiente.



Ilustración 8: Secado del suelo a temperatura ambiente.



Ilustración 9: Secado de las muestras de suelo y forraje en la estufa a 105 ° C.



Ilustración 10: Trituración y tamizaje de las muestras de suelo



Ilustración 11: Trituración del forraje.



Ilustración 12: Homogenización del forraje.

ANEXO E: ANÁLISIS FISCOQUÍMICOS DE LAS MUESTRAS DE SUELO Y FORRAJE



Ilustración 13: Medición del pH de las muestras de suelo y forraje.



Ilustración 14: Determinación de la materia orgánica del suelo y forraje.



Ilustración 15: Determinación de la densidad aparente del suelo.



Ilustración 16: Determinación de la densidad real del suelo.



Ilustración 17: Determinación de la textura del suelo.



Ilustración 18: Determinación de macronutrientes del suelo.



Ilustración 19: Determinación de fósforo del suelo y forraje.



Ilustración 20: Pesaje de las muestras de suelo y forraje para la determinación de carbono y nitrógeno.



Ilustración 21: Determinación de carbono y nitrógeno mediante el analizador elemental



Ilustración 22: Determinación de nitratos, sulfatos y fosfatos presentes en el forraje.



Ilustración 23: Titulación para determinar de la presencia de cloruros en el forraje



Ilustración 24: Determinación de sodio y potasio presentes en el forraje mediante la fotometría de llama.

ANEXO F: DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS POR ESPECTROSCOPIA DE MASAS CON PLASMA ACOPLADO INDUCTIVAMENTE (ICP-MS)



Ilustración 25: Preparación de las muestras para la digestión asistida por microondas.



Ilustración 26: Digestión asistida por microondas de las muestras



Ilustración 27: Filtración al vacío de las muestras llevadas al digestor asistida por microondas.

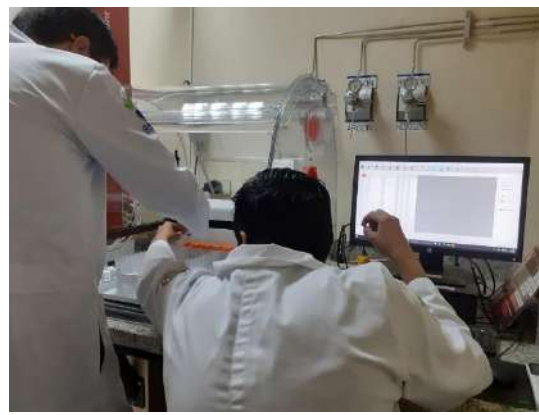

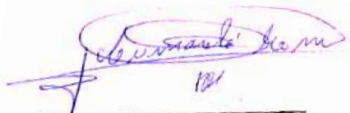


Ilustración 28: Determinación de metales pesados mediante espectroscopía de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS)



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA
NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 28/ 06 / 2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Nombres – Apellidos: Christian Alexander Astudillo Tobar Pricila Guadalupe Herrera Figueroa
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Química
Título a optar: Químico
 Ing. Silvana Paola Ocaña Coello Director del Trabajo de Integración Curricular
 Dra. Lourdes Cumandá Carrera Beltrán Asesor del Trabajo de Integración Curricular

