



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

**“EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DE LA CENIZA DEL
VOLCÁN TUNGURAHUA Y SU IMPACTO AMBIENTAL EN
SUELOS AGRÍCOLAS DE LAS PROVINCIAS DE TUNGURAHUA
Y CHIMBORAZO”**

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para obtener el grado académico de:

INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORAS: VICTORIA JESSENIA MORALES CRUZ

ERIKA LISBETH ERAZO MACAS

DIRECTORA: Dra. IRENE GAVILANES, PhD.

Riobamba- Ecuador

2020

©2020, Victoria Jessenia Morales Cruz; & Erika Lisbeth Erazo Macas

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.

Nosotras, Victoria Jessenia Morales Cruz y Erika Lisbeth Erazo Macas, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autoras asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 31 de agosto 2020



Victoria Jessenia Morales Cruz

180497222-0



Erika Lisbeth Erazo Macas

060394357-2

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

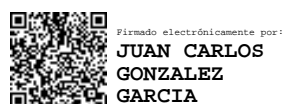
CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Proyecto de Investigación, “**EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DE LA CENIZA DEL VOLCÁN TUNGURAHUA Y SU IMPACTO AMBIENTAL EN SUELOS AGRÍCOLAS DE LAS PROVINCIAS DE TUNGURAHUA Y CHIMBORAZO**”, realizado por las señoritas: **VICTORIA JESSENIA MORALES CRUZ y ERIKA LISBETH ERAZO MACAS**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, El mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. Juan Carlos González García



31-08-2020

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Dra. Irene del Carmen Gavilanes Terán, PhD

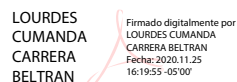


31-08-2020

DIRECTORA DEL TRABAJO

DE TITULACION

Dra. Lourdes Cumandá Carrera Beltrán



31-08-2020

MIEMBRO DE TRIBUNAL

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo al forjador de mi camino, a ti Jehová, quien eres mi fuerza y mi refugio, aquella luz que me guía por las sendas de esta vida. A mis padres Klever y Anita quienes siempre me han apoyado incondicionalmente y me han brindado todo su amor y ejemplo para luchar día tras día hasta alcanzar mis metas y convertirme en la persona que actualmente soy.

A mis hermanos Dayana y Kevin que han sido mis compañeros de vida y mi mayor motivación para alcanzar mis metas, espero servir de ejemplo para que sigan trazando sus sueños. A Dominic por su cariño y por acompañarme a lo largo de mi vida universitaria. Y a ti Lucas, mi gran mascota, que con tus ladridos y ocurrencias siempre llenas de alegría el ambiente de nuestro hogar.

Erika

Dedico este trabajo a mi madre Fanny Cruz, quien me ha formado con valores, buenas costumbres y sobre todo ha estado ahí siempre para apoyarme en mis caídas y levantarme, festejar mis triunfos y darme consejos que formen mi vida de la mejor manera. Ella es la autora de mis sueños, mi motivación para llegar lejos siempre, con su manto me acoge y me guía, amor incondicional, comprensión, paciencia y ejemplo de superación, son aquellas cosas que quedan guardadas en mi corazón y han hecho posible que hoy cumpla una meta tan grande.

También se la dedico a mi padre Ulpiano Morales, el desde el cielo donde Dios lo puso, sé que estuvo presente en mis oraciones y como mi ángel celestial guía mi camino. Y de manera especial se la dedico a mis hermanos y sobrinas, ellos me han enseñado que debo dar todo de mí y enseñarles que todo es posible solo hay que ponerle ganas.

Victoria

AGRADECIMIENTO

En primera instancia doy gracias a Dios por ser mi sostén ante cada tropiezo y por brindarme la oportunidad de culminar mi etapa universitaria. Agradezco a mis padres Klever y Anita por cada día confiar y creen en mí, por ser aquel motor de mi vida que me ha impulsado a luchar por mis metas desde la niñez, gracias por cada consejo y palabra de aliento que me han brindado en los buenos y malos momentos de mi vida y sobre todo les agradezco por el esfuerzo y sacrificio diario que tuvieron que afrontar para que mis hermanos y yo pudiéramos salir adelante.

Gracias a mis hermanos Dayana y Kevin por cada risa y llanto que hemos vivido juntos desde la niñez hasta la adultez, el verlos crecer junto a mí me llena de alegría porque he sido parte de sus vidas.

Erika

Agradezco primero a Dios por la fortaleza brindada, luego agradezco de todo corazón a mi madre Fanny Cruz quien me brinda su apoyo en todo momento y circunstancia, gracias a ella ha sido posible desarrollar este trabajo, mujer valiente y luchadora, no me va alcanzar la vida para agradecer todo lo que ha hecho para que yo pueda cumplir mis metas.

A mi esposo Darwin Balseca e hija Dayelen, por ayudarme en todo momento y motivarme a seguir, a mis hermanos (Ángel, Jorge y Susana), cuñadas (Ana y Marisol), cuñado (Estuardo), sobrinas (Wendy, Emily, Keyla, Paola y Rosita) y sobrino (Leonel), quienes me ayudaron en los momentos de mayor dificultad, me han motivado a seguir luchando hasta el fin. La familia es y siempre será el mejor lugar para refugiarse de las tormentas, y también disfrutar de los días soleados, regresar la mirada hacia ellos y verlos, tan solo verlos te llena el alma y se reinicia la vida. A todos ellos amor y agradecimiento infinito.

Victoria

De igual manera agradecemos al grupo GAIBAQ, especialmente a nuestra tutora la Dra. Irene Gavilanes por su apoyo incondicional en la dirección y realización de esta tesis, gracias por brindarnos parte de sus conocimientos y medios suficientes para que podamos culminar con éxito el presente trabajo. Asimismo, agradecemos a la Universidad Miguel Hernández de Elche, campus de Orihuela, por abrirnos las puertas de sus instalaciones a fin de que podamos llevar a cabo los análisis de laboratorio referentes a metales pesados.

Erika y Victoria

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvi
RESUMEN.....	xvii
SUMMARY/ABSTRACT	xvii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	4
1.1. Antecedentes.....	4
1.2. Marco Conceptual.....	7
1.2.1. <i>El volcán Tungurahua</i>	7
1.2.2. <i>Actividad eruptiva del volcán Tungurahua</i>	7
1.2.3. <i>Tipo de erupciones experimentadas por el volcán Tungurahua</i>	9
1.2.4. <i>Ceniza del volcán Tungurahua</i>	9
1.2.5. <i>Proceso de formación de ceniza</i>	10
1.2.6. <i>Composición química y mineral de la ceniza</i>	10
1.2.7. <i>Características físicas de la ceniza</i>	11
1.2.8. <i>Mecanismos de dispersión de ceniza volcánica</i>	11
1.2.9. <i>Contaminación de los suelos agrícolas de Tungurahua y Chimborazo por metales pesados</i>	11
1.2.10. <i>Importancia del estudio de la contaminación de suelos a causa de metales pesados</i>	12
1.2.11. <i>Fuentes de contaminación por metales pesados</i>	12
1.2.12. <i>Dinámica de los contaminantes en el suelo</i>	13
1.2.13. <i>Formas de retención y disponibilidad de metales en el suelo</i>	14

1.2.14. Factores que afectan la disponibilidad de metales	14
1.2.15. Propiedades del suelo y su dinámica con los metales pesados	15
1.2.15.1. pH	15
1.2.15.2. Textura.....	15
1.2.15.3. Condiciones óxido-reducción	16
1.2.15.4. Materia orgánica.....	16
1.2.15.5. Capacidad de intercambio catiónico.....	17
1.2.15.6. Presencia de otros elementos	17
1.2.16. Propiedades de micronutrientes	17
1.2.16.1. Cobre	17
1.2.16.2. Manganeseo.....	18
1.2.16.3. Hierro	18
1.2.16.4. Zinc	19
1.2.17. Propiedades de metales pesados	19
1.2.17.1. Cromo	19
1.2.17.2. Níquel.....	20
1.2.17.3. Cadmio.....	20
1.2.18. Umbrales de contaminación de los metales pesados en el suelo	21
1.2.19. Metales pesados en Material Vegetal	23
1.2.19.1. Dinámica de metales pesados en plantas	23
1.2.19.2. Formas de retención y disponibilidad de metales en plantas.....	23
1.2.20. Determinación de metales pesados en muestras de suelo	24
1.2.20.1. Digestión ácida.....	24
1.2.20.2. Digestión por microondas	24
1.2.21. Espectroscopía de absorción atómica con atomización por llama	25
1.2.21.1. Tipo de llama	26
1.2.21.2. Introducción de muestra	26
1.2.21.3. Proceso de atomización en la llama	27
1.3. Bases Legales	27

1.3.1.	<i>Constitución de la república del Ecuador (publicada en el registro oficial 449 del 20 de octubre de 2008)</i>	27
1.3.2.	<i>Código Orgánico Ambiental (COA)</i>	28
1.3.3.	<i>Acuerdo ministerial 097-A norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados</i>	29
1.3.4.	<i>Agencia de Protección Ambiental</i>	30
1.3.5.	<i>Real decreto 9/2005</i>	32

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	34
2.1.	Revisión ambiental inicial	34
2.1.1.	<i>Identificación de los puntos de control ambiental</i>	34
2.1.2.	<i>Descripción del ambiente abiótico, biótico y socioeconómico</i>	34
2.1.2.1.	<i>Descripción del ambiente abiótico</i>	34
2.1.2.2.	<i>Descripción del ambiente biótico</i>	35
2.1.3.	<i>Determinación del área de influencia</i>	36
2.1.3.1.	<i>Área de influencia directa</i>	36
2.1.3.2.	<i>Área de influencia indirecta</i>	36
2.1.4.	<i>Identificación de aspectos y evaluación de impactos ambientales</i>	36
2.1.4.1.	<i>Identificación de aspectos ambientales</i>	36
2.2.	Levantamiento de la información mediante encuestas	37
2.2.1.	<i>Metodología de encuestas</i>	37
2.2.2.	<i>Análisis y organización de datos</i>	38
2.3.	Matriz de Leopold	38
2.4.	Diseño experimental de muestreo	40
2.4.1.	<i>Localización del estudio</i>	40
2.4.2.	<i>Método de Muestreo</i>	41
2.5.	Determinación de pH, Conductividad Eléctrica (CE), Porcentaje de Materia Orgánica (%MO), Textura y Densidad	44
2.5.1.	<i>Determinación de pH</i>	44
2.5.2.	<i>Determinación de conductividad eléctrica</i>	44

2.5.3.	<i>Determinación de materia orgánica</i>	45
2.5.4.	<i>Determinación de textura</i>	46
2.5.5.	<i>Determinación de Densidad</i>	47
2.5.6.	<i>Determinación de metales pesados Cromo (Cr), Níquel (Ni), Cadmio (Cd) y Plomo (Pb) por absorción atómica</i>	48
2.5.6.1.	<i>Determinación de digestión ácida asista por microondas</i>	48
2.5.6.2.	<i>Determinación de espectroscopía de absorción atómica con atomización por llama</i>	50

CAPITULO III

3.	MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	52
3.1.	Revisión Ambiental Inicial	52
3.1.1.	<i>Identificación de los puntos de control ambiental</i>	52
3.1.2.	<i>Descripción del ambiente abiótico</i>	54
3.1.2.1.	<i>Calidad del agua de los cantones de Pelileo, Quero y Penipe</i>	54
3.1.2.2.	<i>Calidad del suelo de los cantones de Pelileo, Quero y Penipe</i>	56
3.1.2.3.	<i>Calidad del aire en los cantones de Pelileo, Quero y Penipe</i>	57
3.1.3.	<i>Descripción del ambiente biótico</i>	57
3.1.3.1.	<i>Cantón Santiago de Quero</i>	57
3.1.3.2.	<i>Cantón San Pedro de Pelileo</i>	59
3.1.3.3.	<i>Cantón Penipe</i>	63
3.1.4.	<i>Descripción del medio socio-económico</i>	67
3.1.4.1.	<i>Cantón Santiago de Quero</i>	67
3.1.4.2.	<i>Cantón San Pedro de Pelileo</i>	69
3.1.4.3.	<i>Cantón Penipe</i>	71
3.1.5.	<i>Determinación del área de influencia</i>	73
3.1.5.1.	<i>Área de influencia directa</i>	73
3.1.5.2.	<i>Área de influencia indirecta</i>	73
3.1.6.	<i>Identificación de aspectos y evaluación de impactos ambientales</i>	74
3.1.6.1.	<i>Identificación de aspectos ambientales</i>	74
3.2.	Análisis de las Encuestas	76

3.2.1.	<i>Sección 1: Datos personales</i>	76
3.2.2.	<i>Sección 2: desarrollo</i>	78
3.3.	Matrices de identificación y valoración de impactos ambientales	94
3.3.1.	<i>Matriz causa – efecto</i>	94
3.3.2.	<i>Matriz de Leopold</i>	98
3.4.	Resultado del diseño experimental de muestreo	102
3.4.1.	<i>Resultados de pH, conductividad eléctrica (CE), contenido de materia orgánica (MO), densidad y textura</i>	103
3.4.1.1.	<i>pH</i>	104
3.4.1.2.	<i>Conductividad eléctrica (CE)</i>	105
3.4.1.3.	<i>Contenido de materia orgánica (MO)</i>	105
3.4.1.4.	<i>Densidad</i>	106
3.4.1.5.	<i>Textura</i>	106
3.4.1.6.	<i>Análisis de Metales Pesados Cr, Ni, Cd y Pb por absorción atómica</i>	107
	CONCLUSIONES	112
	RECOMENDACIONES	113
	GLOSARIO	
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

MAE:	Ministerio del Ambiente Ecuador
GAIBAQ:	Grupo Asociado de Investigación Biotecnológica, Ambiente y Química
pH:	Potencial Hidrogeno
LP:	Largo Plazo
CP:	Corto Plazo
L:	Grande
M:	Moderado
S:	Pequeño
Si:	Silicio
Al:	Aluminio
Ti:	Titanio
Fe:	Hierro
Mg:	Magnesio
Ca:	Calcio
Na:	Sodio
K:	Potasio
Cr:	Cromo
Mn:	Manganeso
P:	Fosforo
Cu:	Cobre
Zn:	Zinc
Ni:	Níquel
Co:	Cobalto
Rb:	Rubidio
U:	Uranio
Th:	Torio
Pb:	Plomo
As:	Arsénico
ppm:	Partes por millón
PDC:	Corriente de Densidad Piroclástica
CEC:	Capacidad de Intercambio Catiónico
ADN:	Acido Desoxirribonucleico
COA:	Código Orgánico Ambiental
APA:	Agencia de Protección Ambiental

RAI:	Revisión Ambiental Inicial
INEC:	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
MO:	Materia Orgánica
GAD:	Gobierno Autónomo Descentralizado
SENPLADES:	Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo
CE:	Conductividad Eléctrica

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Concentraciones geoquímicas	22
Tabla 2-1: Criterios de calidad del suelo	29
Tabla 3-1: Concentraciones medias de metales seleccionados en suelos superficiales (mg/kg)	31
Tabla 1-2: Calificación de impactos ambientales	39
Tabla 2-2: Rangos de severidad	39
Tabla 1-3: Cobertura vegetal del cantón Santiago de Quero	58
Tabla 2-3: Fauna local del cantón Quero	59
Tabla 3-3: Dicotiledóneas locales del cantón Pelileo	60
Tabla 4-3: Monocotiledóneas locales del cantón Pelileo	61
Tabla 5-3: Eudicotiledóneas locales del cantón Pelileo	62
Tabla 6-3: Fauna local del cantón San Pedro de Pelileo	62
Tabla 7-3: Dicotiledóneas locales del cantón Penipe	63
Tabla 8-3: Conífera local del cantón Penipe	64
Tabla 9-3: Monocotiledóneas locales del cantón Penipe	65
Tabla 10-3: Eudicotiledóneas locales del cantón Penipe	65
Tabla 11-3: Fauna local del cantón Penipe	66
Tabla 12-3: Población del cantón Quero 2020	67
Tabla 13-3: Actividades productivas principales del cantón Quero	68
Tabla 14-3: Población del cantón Pelileo 2020	69
Tabla 15-3: Principales actividades productivas del cantón Pelileo	70
Tabla 16-3: Población del cantón Penipe 2020	71
Tabla 17-3: Principales enfermedades de la población del cantón Penipe	72
Tabla 18-3: Matriz de identificación de actividades, aspectos e impactos ambientales	74
Tabla 19-3: Matriz causa- efecto de las principales actividades productivas de los cantones Quero, Pelileo y Penipe	95
Tabla 20-3: Matriz de Leopold de las principales actividades productivas de los cantones	98
Tabla 21-3: Identificación de coordenadas de los puntos de muestreo de suelo	103
Tabla 22-3: Resultados de análisis de pH, conductividad eléctrica, materia orgánica y densidad	104
Tabla 23-3: Resultados de textura de suelo no cultivables suelos cultivables	106
Tabla 24-3: Concentraciones de cromo, níquel, cadmio y plomo	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2.	Entrevista a moradores aledaños al volcán Tungurahua	37
Figura 2-2.	Volcán Tungurahua	40
Figura 3-2.	Determinación de puntos de muestreo del sector Quero-Yanayacu.....	41
Figura 4-2.	Determinación del área de muestreo	42
Figura 5-2.	Muestras compuestas de suelo tomadas por triplicado.....	42
Figura 6-2.	Identificación de coordenadas de altitud, latitud y altura.....	43
Figura 7-2.	Muestras de suelo cultivable y no cultivable secadas a temperatura ambiente ...	44
Figura 8-2.	Determinación de pH y conductividad eléctrica de muestras de suelo	45
Figura 9-2.	Determinación de materia orgánica.....	46
Figura 10-2.	Determinación de textura de suelos.....	47
Figura 11-2.	Determinación de densidad	48
Figura 12-2.	Digestión ácida de muestras de suelo asistidas por microondas	49
Figura 13-2.	Muestras de suelo cultivable y no cultivable digeridas con ácido nítrico	49
Figura 14-2.	Determinación de metales pesados por espectroscopia de absorción atómica .	51
Figura 1-3.	Mapa de ubicación de la zona de estudio	53
Figura 2-3.	Mapa de ubicación de los puntos de muestreo de la provincia de Tungurahua ..	53
Figura 3-3.	Mapa de ubicación de los puntos de muestreo de la provincia de Chimborazo ..	54

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3.	Edad de los pobladores encuestados	76
Gráfico 2-3.	Género de los pobladores encuestados	77
Gráfico 3-3.	Ocupación laboral de los pobladores encuestados.....	77
Gráfico 4-3.	Motivos de los pobladores encuestados para vivir dentro de las zonas de Tungurahua y Chimborazo	78
Gráfico 5-3.	Tiempo de residencia de los pobladores encuestados.....	79
Gráfico 6-3.	Amenazas naturales de las zonas de Tungurahua y Chimborazo	80
Gráfico 7-3.	Zonas de peligro volcánico.....	81
Gráfico 8-3.	Materiales volcánicos con mayor incidencia sobre las provincias de Tungurahua y Chimborazo.....	82
Gráfico 9-3.	Riesgos de salud de los pobladores encuetados por causa de la actividad del volcán Tungurahua.....	83
Gráfico 10-3.	Calidad de suelo afectado positiva o negativamente por ceniza volcánica.....	84
Gráfico 11-3.	Calidad del suelo afectada por la interacción con ceniza volcánica	85
Gráfico 12-3.	Suelos agrícolas influenciados positiva o negativamente por causa de la incorporación de ceniza volcánica	86
Gráfico 13-3.	Remoción de ceniza volcánica en suelos	87
Gráfico 14-3.	Cultivos menos susceptibles a material volcánico.....	88
Gráfico 15-3.	Porcentaje de cosechas productivas vs cosechas no productivas tras finalizar el proceso eruptivo del volcán Tungurahua	89
Gráfico 16-3.	Cultivos comunes de las zonas de Tungurahua y Chimborazo.....	90
Gráfico 17-3.	Influencia de metales pesados en suelos	91
Gráfico 18-3.	Factores que contribuyen con la presencia de metales pesados en suelos	91
Gráfico 19-3.	Frecuencia de uso de fertilizantes sintéticos en suelos	92
Gráfico 20-3.	Frecuencia de uso de plaguicidas en suelos.....	93
Gráfico 21-3.	Frecuencia de uso de lodos de aguas residuales como fertilizantes en suelos	94

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: ENCUESTA PLANTEADA A LOS MORADORES ALEDAÑOS AL VOLCÁN TUNGURAHUA

ANEXO B: RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE SUELO CULTIVABLE Y NO CULTIVABLE

ANEXO C: ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS DE MUESTRAS DE SUELO CULTIVABLE Y NO CULTIVABLE

ANEXO D: DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS POR ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA CON ATOMIZACIÓN DE LLAMA

RESUMEN

El objetivo de este trabajo de investigación fue levantar un diagnóstico línea base de las zonas de influencia del proceso eruptivo del volcán Tungurahua en las provincias de Tungurahua y Chimborazo. Se realizó la recolección de datos a través de análisis de muestras, aplicación de encuestas a la población y la identificación de aspectos y evaluación de impactos ambientales en la matriz de Leopold. Mediante análisis de laboratorio se obtuvo que el pH esta entre 5.16 y 8.54 considerado en su media neutral, CE <2007 us/cm es decir no contiene gran cantidad de salinidad, %MO <0.71 bajo contenido, densidad entre 0.44 y 0,75g/ml, textura franco arenoso en toda la zona de estudio y metales pesados según la EPA los valores de Cr, Ni y Pb se encontraron por debajo de los límites permisibles. Sin embargo, el Cd esta fuera del límite permisible por lo cual se evidencia una contaminación del suelo por este metal, dichos resultados concuerdan con los análisis anteriores realizados donde se evidencia una correlación entre ellos. En general la caída de ceniza y en si el contenido de metales pesados en ella, por análisis cuantitativo de cada una de las actividades registradas en la matriz de Leopold, reveló un total de 107 interacciones de carácter negativo relacionadas con los diferentes componentes ambientales, algunos de estos impactos se consideraron severos y otros moderados dependiendo de su grado de afectación. Dejando en evidencia también que al transcurrir el tiempo los suelos donde se ha depositado ceniza volcánica tienden a ser más productivos con un gran aporte nutricional y fertilidad para actividades agrícolas y ganaderas, por lo que se recomienda continúen con las investigaciones en la zona de estudio a través de la recolección de muestras y su posterior análisis.

Palabras clave: <IMPACTO AMBIENTAL>; <ANÁLISIS CUANTITATIVO>; <CONTAMINACIÓN DEL SUELO>; <METALES PESADOS>; <CENIZA VOLCÁNICA>; <CHIMBORAZO (PROVINCIA)>



Firmado electrónicamente por:
JHONATAN RODRIGO
PARREÑO UQUILLAS



19-10-2020

0397-DBRAI-UPT-2020

SUMMARY/ABSTRACT

The purpose of the research work was to set a baseline diagnosis in the areas influenced by Tungurahua volcano erupting process in Tungurahua and Chimborazo provinces. The data were collected through a sample analysis, surveys applied to the population and the identification of aspects, as well as the evaluation of the environmental impact in the Leopold matrix. By means of a laboratory analysis, it was determined that pH value is between 5.16 and 8.54, which is considered its neutral mean, CE<2007 us/cm; it means, salinity is not present in large amounts, %MO >0.71 low content, density between 0.44 and 0,75 g/ml, sandy loam texture is evidenced throughout the field of study, the values of Cr, Ni and Pb for heavy metals were under the permissible limits according to EPA. However, Cd is out of the permissible limit; thus, soil pollution is evidenced due to this metal, these results match with previous analyses carried out in which a correlation among them is evidenced. In general, ash fall and the heavy metal content it has, revealed a total of 107 negative interactions in relation with the environmental components, this was carried out by means of a quantitative analysis of each one of the activities registered in the Leopold matrix. Some of these impacts, were severe and others moderate depending on their affectation level. This research evidences that as times passes, the places with presence of ash falling are much more productive with a high nutritional content and fertility for agricultural and livestock activities, thus it is recommended to continue with the research in the field of study through the collection of samples and their further analysis.

Key words: <ENVIRONMENTAL IMPACT>; <QUANTITATIVE ANALYSIS>; <SOIL POLLUTION>, <HEAVY METALS>; <VOLCANIC ASH>; <CHIMBORAZO (PROVINCE)>

INTRODUCCIÓN

Identificación del problema

El volcán Tungurahua se encuentra ubicado a 35 km al Sur-Este de la ciudad de Ambato, en la cordillera central de los Andes y es uno de los volcanes más activos del Ecuador. Esta actividad volcánica se ha caracterizado por la emisión continua de columnas de gases y ceniza de varios kilómetros de altura, causando afectaciones a las poblaciones de: Mocha, Quero, Cevallos, Pelileo y Penipe; las cuales se distinguen por ser sectores agrícolas, ganaderos, avícolas, frutícolas y turísticos. (Instituto Geofísico, 2017, p.6)

Dicha ceniza volcánica posee una estructura porosa y húmeda que está compuesta por óxidos, principalmente de sílice, aluminio y hierro (80%), magnesio, calcio, sodio, potasio y metales pesados como vanadio, plomo, cromo, cobalto, níquel y zinc (Galán y Romero, 2008, p. 56). Estos últimos son la base de estudio de esta investigación debido a que dichos elementos se inmovilizan y se bioacumulan en el suelo, cuerpos hídricos y en el organismo hasta tercer, cuarto y quinto, orden de magnitud mayor que la concentración en el medio, provocando una alteración de la cadena trófica.

Los efectos ambientales de los metales pesados de origen volcánico pueden ser múltiples, llevarse a cabo a diferentes escalas y ubicarse en distintos niveles socio ecológicos; pues tienen un alto índice de impacto ambiental, no sólo por sus consecuencias ante la población, sino también hacia el ambiente, causando cambios en el paisaje, en la composición de los suelos, alteración de la calidad del aire, impactos en las cuencas hidrográficas, alteraciones en la biodiversidad, efectos en la agricultura y ganadería, entre otros (MAE, 2016, p.32)

JUSTIFICACIÓN

La concentración de metales pesados en suelos agrícolas ocasionada por vía natural como las erupciones volcánicas, está afectando drásticamente la seguridad ambiental, alimentaria y salud de la población. La presencia de metales pesados y metaloides a diferentes concentraciones en productos hortícolas, frutas, peces, carnes y leche resultado de la bio-acumulación y movilidad desde el ambiente al suelo, ha conllevado a una gran preocupación en la población, en especial en aquellas zonas aledañas a fuentes de este tipo de contaminantes volcánicos provenientes de procesos eruptivos. Dichos metales de elevada toxicidad han atravesado el umbral del medio

biótico a través de la cadena trófica y dependiendo del tipo de metal o metaloide, se han reportado incluso daños en órganos vitales hasta desarrollar procesos cancerígenos. (Galán y Romero, 2008, p.58)

A pesar de haber existido algunos procesos eruptivos por parte del volcán Tungurahua, actualmente existe insuficiente información publicada referente a los efectos de los metales pesados de origen volcánico en las distintas áreas aledañas al volcán, por lo cual se pretende evaluar el proceso de acumulación de dichos metales pesados en suelos agrícolas de las provincias de Tungurahua y Chimborazo.

Es por ello que, en el presente estudio se tomarán los puntos de muestreo más cercanos a las zonas aledañas o de mayor influencia del volcán Tungurahua tanto de la provincia de Chimborazo como de Tungurahua.

Además de identificar si los niveles de concentración de los metales pesados sobrepasan o no los valores permitidos por la normativa ambiental; así como también en coordinación con los demás parámetros tanto físicos como químicos analizados; los resultados obtenidos constituirán una línea base de los niveles de concentración de estos metales, los cuales debido a que no existe información necesaria sobre las zonas de estudio, podrán ser utilizados en futuros proyectos para fundamentar propuestas de planteamientos de medidas de mitigación, adaptación y monitoreo que podrán inferir acerca de la dinámica de estos elementos y su impacto en la zona de influencia.

Este proyecto cubre las necesidades de la población científica y de la sociedad en sí, pues está dentro de un proyecto macro que mantiene el Grupo Asociado de Investigación Biotecnológica, Ambiente y Química (GAIBAQ), además se encuentra dentro de la línea de investigación de Gestión de Ambiente y Territorio con la que cuenta la carrera de Ingeniería en Biotecnología Ambiental.

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

General:

Evaluar la incidencia de la ceniza del volcán Tungurahua y su impacto ambiental en suelos agrícolas de las provincias de Tungurahua y Chimborazo.

Específicos:

- Levantar un diagnóstico línea base de las zonas de influencia del proceso eruptivo del volcán Tungurahua en las provincias de Tungurahua y Chimborazo.
- Analizar la concentración de metales pesados en suelos intervenidos por la caída de ceniza volcánica, además de otros parámetros tanto físicos como químicos en las zonas de estudio.
- Identificar los impactos ambientales relacionados con metales pesados provenientes de la ceniza volcánica en suelos agrícolas, de las zonas influenciadas por el volcán Tungurahua.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes

El volcán Tungurahua con 5023 m de altura es uno de los sistemas volcánicos más activos del Ecuador, su más reciente actividad eruptiva se reportó a inicios del año 1999 y culminó en 2016. Durante esos años se han presentado fases de diferente tamaño e intensidad que han incluido erupciones con periodos de baja y ninguna actividad. Desde su reactivación el problema más persistente es la caída de ceniza, que constituye uno de los peligros volcánicos de mayor afectación debido al alcance y dispersión de este material. (Romero et al., 2017, p.704)

En el período eruptivo de 1999 al 2016, el volcán Tungurahua acogió tres eventos explosivos de importancia grande en los años 2001, 2006 y 2014, pues emitió productos volcánicos como: ceniza, balísticos, lahares, corrientes de densidad piroclásticas y flujos de lava (Bustillos A. et al. 2017, pp.9-10). De estos materiales, la ceniza volcánica, fue el material de mayor expulsión, la cual se depositó al occidente del volcán de forma casi permanente (Le Penne et al. 2012, p.6). En este lapso de tiempo se puede observar cuatro procesos eruptivos; el primero desde 1999 a 2005, el segundo corresponde a la erupción del año 2006, el tercero fase a partir del 2007 al año 2009 y el cuarto del 2010 al 2014 (Romero et al., 2017, p. 706). Estos procesos están caracterizadas por las variaciones en el estilo eruptivo del volcán, además, la mayor cantidad de ceniza expulsada ocurrió en los años: 2001, 2006 y 2014, señalando que la tasa de descarga del período posterior al 2006, tuvo un incremento en 2:1 veces más en relación al período previo (Bustillos A. et al., 2017, p.11)

Los estudios realizados por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, señalan que, durante el año 2016, el incremento de la actividad interna del volcán Tungurahua se detectó el 26 de febrero con el apareamiento de un enjambre de sismos de tipo “Volcano-Tectónico”, que están asociados al fracturamiento de rocas, posteriormente un enjambre de sismos de tipo “Largo Periodo” (Few, Armijos y Barclay, 2017, pp. 74-75).

La primera explosión formó una columna eruptiva de 5 km sobre el nivel del cráter y fue seguida por temblores de emisión que provocaron caídas de ceniza (piroclastos <2 mm de diámetro) hacia el Occidente y Suroccidente. Es durante esta primera fase de la erupción que

ocurrió la principal caída de ceniza de color gris con fragmentos oxidados. (Few, Armijos y Barclay, 2017, p. 77).

A inicios de marzo del 2016, se observó una disminución de la actividad eruptiva del volcán, en esta fase las columnas de emisiones fueron limitadas a 2 km sobre el nivel del cráter y no se observaron flujos piroclásticos y las caídas de ceniza tomaron una tonalidad rojiza (Few, Armijos y Barclay, 2017, p. 78).

Según el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (2017), el resultado de las emisiones y explosiones en este periodo de actividad, provocaron caídas de ceniza, siendo las zonas más afectadas aquellas que se encuentran hacia el Occidente del volcán, principalmente las poblaciones Mocha, Quero, Cevallos, Pelileo y Penipe, en las cuales, según el mapa de caída de ceniza presentado por el IGM, generó una masa total del depósito de $1.1E+9$ kg ($\sim 7E+5$ m³).

La dirección del viento hacia el oeste, ocasionó que los principales afectados por las caídas de ceniza, fueran las poblaciones que se encuentran al occidente del volcán, siendo sus fuentes de trabajo la agricultura y ganadería (Instituto Geofísico, 2017, p.13). La ceniza perjudicó a plantas, ocasionando la decoloración, necrosis, y muerte, esto muestra que el tipo de daño en los cultivos está en dependencia de las propiedades químicas y físicas del producto volcánico (Le Pennec et al., 2005, p.10).

En los cultivos los daños que la ceniza puede ocasionar varían en función del tipo de cultivo, espesor del depósito, grado de desarrollo de la planta, tiempo de exposición al fenómeno, composición mineralógica y química, densidad y granulometría de la ceniza, la época y el clima de la zona (Le Pennec et al., 2005, p.12).

La caída de ceniza ha llegado a una distancia promedio de 20-30 km, aunque, sus efectos se han experimentado a distancias mayores de 800 km, incluso en áreas superiores a 100 000 km². En los seres humanos las afectaciones más pronunciadas son: decadencia en la salud, contaminación de recursos: suelos, agua y aire, incluyendo la destrucción de fuentes de alimento primario, daños a viviendas, maquinaria de trabajo, averíos en los medios de comunicación, energía y vías de transportes, entre muchos otros (Bustillos A. et al., 2017, pp. 23-24).

Los componentes o elementos químicos presentes en la ceniza son transportados por el agua mediante los lixiviados y algunos de ellos pueden afectar a la capacidad productiva del suelo, la composición química, el pH y la disponibilidad de nutrientes; ya que genera la carencia de minerales esenciales y el exceso de elementos contaminantes (Ayrís y Delmelle, 2012, pp. 1919-1920).

Según estudios realizados sobre las propiedades de las cenizas del volcán Tungurahua, para identificar los factores que determinan su impacto en suelos y cultivos, señalan que, las propiedades físicas y químicas de la ceniza del volcán Tungurahua, tienen una influencia en el normal desarrollo de los cultivos; pues en el análisis efectuado a 43 muestras de ceniza, recolectadas durante 1999-2014 en las poblaciones ubicadas al oeste del volcán Tungurahua se encontró que, no existen variaciones significativas en los aspectos químico y mineralógico, y que las principales diferencias se encuentran en las propiedades físicas de la ceniza correspondientes a la textura, morfología y distribución granulométrica (Parra et al., 2016, pp. 4-5).

El estudio también concluyó que la diversidad de los productos cultivados se redujo en un 50% desde 1999 pero, la mayoría coincide, en que la ceniza llega a poseer un efecto positivo en los suelos, debido a la mejora productiva en períodos de calma, como la exitosa cosecha lograda en el año 2015 después de 6 meses de quietud del volcán (Parra et al., 2016, p. 10).

Otro estudio realizado por Armijos y Few (2015), denominado “Living with volcanic risk: vulnerability, knowledge and adaptation in the slope of Tunguragua, Ecuador”, indican que en el año 2015, como parte del proyecto “Fortalecimiento de la Resiliencia en Áreas Volcánicas (STREVA)”, universidades y centros de investigación británicos, realizaron un estudio de carácter exploratorio descriptivo en el Volcán Tungurahua - Ecuador, el cual tenía por objeto comprender la influencia de la disposición geográfica de la población (exposición a peligros), estatus socioeconómico, acceso a recursos y derechos en la dinámica de vulnerabilidad a los peligros volcánicos. Los investigadores tomaron en cuenta áreas rurales poco estudiadas y expuestas a la actividad volcánica en las provincias de Tungurahua y Chimborazo (Few, Armijos y Barclay, 2017, p. 74)

Los cultivos que se desarrollaron principalmente en la región occidental del volcán fueron: el maíz, seguido de papas, fréjol, tomate de árbol y cebolla blanca. El maíz es el principal alimento en cosecharse, sin embargo, debido al riesgo que representaba la caída de ceniza sobre los cultivos, los pobladores en época eruptiva preferían no sembrarlos debido a las pérdidas que se generaban. Los cultivos de papa son el segundo alimento de principal cosecha en las zonas aledañas y fueron los más afectados, pues las plantas sembradas se quemaban por causa de la caída de ceniza. Por estas razones varios agricultores habían construido invernaderos para cubrir las plantaciones nuevas de tomate y babaco como una forma de adaptación a la constante caída de ceniza (Romero et al., 2017, pp. 699-700).

La ganadería se vio afectada por la pérdida de pasto debido a que los depósitos de ceniza afectaron la alimentación de algunos animales, conllevando a que especies como cuyes no

toleraran la ceniza o que vacas adelgazaran por el consumo de dichos pastos, por lo que fue necesario cambiar la alimentación a productos libres de ceniza (Parra et al., 2016, p. 8).

Se cree que la ceniza negra es un buen fertilizante en una cantidad moderada y se limpia fácilmente con la lluvia, a diferencia de la ceniza blanca que se cementa con la lluvia sobre las hojas de las plantas y al ser de menor tamaño es mucho más difícil de remover. Todos estos parámetros ocasionan desde la decoloración de la planta, hasta su total destrucción (Ayrís y Delmelle, 2012, p. 1925)

1.2. Marco Conceptual

1.2.1. El volcán Tungurahua

El volcán Tungurahua (Lat. 01 ° 28 ' S; Lon. 78 ° 27 ' O; 5023 msnm) es un gran estrato volcán de andesita ubicado en la Cordillera Oriental de los Andes ecuatorianos. Desde el comienzo de su actividad, la lluvia de ceniza volcánica ha sido la más frecuente y peligrosa. Durante sus periodos eruptivos, el Tungurahua se ha visto alternado por periodos de reposo y de fases eruptivas (Parra et al., 2016, p.2).

Este estrato volcán limita al oeste con el valle interandino el cual posee de 30 a 50 kilómetros de ancho y al este, limita con las tierras bajas donde se encuentra el arco posterior de la Amazonia Ecuatoriana. El Tungurahua se formó en tres periodos constructivos principales los cuales fueron interrumpidos por dos eventos de falla de flanco (mitad en que se divide el plano axial a un pliegue) (Muller et al., 2018, p.65).

1.2.2. Actividad eruptiva del volcán Tungurahua

Los patrones de deformación del suelo y la sismicidad cíclica se evidencian en volcanes de todo el mundo, en los cuales los enjambres sísmicos y la inclinación que muestran los flancos volcánicos son de gran importancia para evaluar la actividad que presenta el volcán (Neuberg et al., 2018, p.193).

Por ello, durante las erupciones andesíticas del volcán Tungurahua, caracterizadas por su larga duración, se presentan cambios en el comportamiento, y en particular, la transición de erupciones

semicontinuas y de baja explosividad a erupciones explosivas más grandes y continuas (Muller et al., 2018, p.64).

La erupción que se presentó hace unos pocos años atrás (1999-2016), en la cual el presente trabajo hará énfasis, apareció después de 8 décadas de inactivación, en este periodo se presentó una actividad variable la cual alternaba entre hiatos cortos, emisiones de ceniza, explosiones de gases fuertes y focos de lava (Muller et al., 2018, p.66). La actividad eruptiva se caracterizó por presentar explosiones bajas, moderadas y fuertes además de la caída de ceniza regional (Samaniego et al., 2011, p. 70).

La actividad eruptiva del volcán Tungurahua va de 2 a 4 en la escala de VEI (Volcanic Explosivity Index), pues las erupciones en estos últimos 17 años se han visto acompañadas por fuertes desgasificaciones, actividad sísmica a largo plazo (LP), actividad sísmica de corto plazo (CP) y deformación del suelo (Neuberg et al., 2018, p.195). Las erupciones han tenido lugar en sucesivas fases eruptivas de tamaño e intensidad diferente, que se alternan con períodos de relativa a completa quietud. Dichas fases poseían varios impactos en las comunidades andinas cercanas, presentando 3 tipos: Grande (L), Moderado (M) y Pequeño (S) como indicadores útiles para describir el tamaño de los eventos (Le Pennec et al., 2012, p.94).

Las fases de tipo L tuvieron lugar en julio y agosto de 2006, febrero de 2008, mayo y diciembre 2010, julio y octubre de 2013 y febrero y abril de 2014 (Neuberg et al., 2018, p.196), estos acontecimientos duraron varias horas o días, con emisiones de flujos piroclásticos, columnas eruptivas altas (5-13 km sobre el cráter ubicado a 5 km a nivel del mar) y actividades de formación, acompañadas por caídas de ceniza y escorrentías (Le Pennec et al., 2012, p.94). La actividad fue dominada por procesos estrombolianos y emplazamientos de flujos de escoria. Eventos que implicaron evacuaciones apresuradas e inclusive muertes y daños severos en la agricultura, infraestructura y ganadería (Samaniego et al., 2011, p.70).

Las fases de tipo M se caracterizaban por durar varios días a semanas (por ejemplo, a fines de 1999, agosto de 2001, octubre de 2003, junio de 2004, entre otras), y consistieron en una desgasificación intensa acompañadas por explosiones estrombolianas a violentas estrombolianas, chorros de lava y emisiones sostenidas de cenizas, las columnas eruptivas alcanzaban de 2 a 8 km sobre el cráter, pero con una total ausencia de flujo piroclástico. Algunos eventos de tipo M generaron un impacto severo en las actividades económicas, de manera especial en la agricultura y el turismo (Le Pennec et al., 2012, p.96).

Mientras que en las fases de tipo S los impactos eran limitados o nulos en las actividades humanas, debido a la emisión única de cenizas donde la altura de la columna era inferior a 2.5-3 km sobre el respiradero, estas fueron demasiado pequeñas para afectar las áreas pobladas y cultivadas (Le Pennec et al., 2012, p.96). En las fases tipo L y S no se encuentran lo suficientemente documentados

los sucesos, debido a que los últimos eventos fueron en el año 2016 y no llegaron a ser de gran relevancia como las fases de tipo M.

1.2.3. Tipo de erupciones experimentadas por el volcán Tungurahua

El volcán Tungurahua ha presentado tres tipos de erupciones volcánicas dependiendo de la intensidad y la magnitud de la erupción, en primera instancia erupciones de carácter estromboliano, erupciones de tipo pliniano y explosiones de tipo vulcanianas (Fee, Garces y Steffke, 2010, p.68).

Las erupciones estrombolianas o explosiones directas son aquellas en las cuales se presentan periodos intermitentes de actividad sísmica intensa, emisión de flujos piroclásticos, flujos de lava y caída de ceniza la cual se decanta y es moviliza por la lluvia como lahares (Armijos et al. 2017, p.220). Este tipo de erupciones tienen largas horas de duración y son consideradas las más peligrosas para la población aledaña al estrato del volcán Tungurahua (Steffke et al., 2010, p. 150).

Las erupciones de tipo pliniano o erupciones plinianas son conocidas como explosiones transitorias que a menudo están marcadas por cenizas menores o nulas , las cuales se presume que tienen mayor carga de gases, pues este tipo de erupciones disminuyen la columna de ceniza y causa una menor intensidad en la erupción, tienen una duración de días o incluso semanas, se ha observado que el cráter del volcán emana constantemente un penacho compuesto por gases a manera de chimenea (Fee, Garces y Steffke, 2010, pp. 76-77).

El ultimo tipo de erupción que ha presentado el volcán Tungurahua son las erupciones de tipo vulcanianas, es decir, pequeñas erupciones que llegan a durar segundos o minutos, se caracterizan por presentar episodios eruptivos más cortos en duración pero de una actividad explosiva intensa en las que se presenta emisiones de ceniza, flujos piroclásticos y flujos de lava y lahares (Armijos et al., 2017, pp.219-220).

1.2.4. Ceniza del volcán Tungurahua

Se considera ceniza volcánica a aquellas partículas que son liberadas por un volcán, es decir partículas finas con diámetro menor a 2 milímetros. Debido a la naturaleza de las erupciones volcánicas que incluyen vapor de agua y ceniza, esta combinación provoca grandes y pequeños conos de emisión (Hall et al., 1999, p. 4).

La ceniza más gruesa se sedimenta y forma una capa de roca la cual es conocida como toba volcánica. Mientras que las partículas más finas son llevadas por el viento a varios kilómetros de longitud, causando paisajes polvorientos de color gris (Parra et al., 2016, p.7).

1.2.5. Proceso de formación de ceniza

Durante una explosión volcánica el magma se fragmenta y pasa de una fase líquida (con burbujas de gas dispersas) a una fase gaseosa (con gotas de lava); esta fragmentación puede ser primaria cuando la explosión tiene una expansión, descompresión y enfriamiento rápido del magma (Le Pennec et al., 2012, p.93).

Mientras que en el fraccionamiento secundario se da la reducción sucesiva del tamaño de grano dada su ruptura inicial, esto ocurre dentro del penacho volcánico o en el transporte de las corrientes piroclásticas dando lugar a la colisión y abrasión de los clastos sólidos grandes y con frecuencia frágiles, en esta fase es donde se produce mayor cantidad de partículas de ceniza pequeñas (Few, Armijos y Barclay, 2017, p.74).

1.2.6. Composición química y mineral de la ceniza

La cristalización del magma da como resultado principal silicatos acompañados de algún metal, es por ello que los minerales que componen la ceniza generalmente son: feldespato, cuarzo, piroxeno, plagioclasa, hierro titanio/óxido de hierro. La composición química de la ceniza dependerá de la química del magma (riolítico o basáltico) y esto a su vez determinará la formación del mineral y su cantidad (Samaniego et al., 2011, p.72).

El Si, Al, Ti, Fe, Mg, Ca, Na, K, Cr, Mn, P son los elementos que mayoritariamente componen los minerales; Ni, Co, Rb son los elementos que se encuentran en menor proporción y U, Th y las tierras raras se encuentran en trazas. En la química de la ceniza existe una fracción que puede ser removida por el agua mediante lixiviación con sulfato, cloro y flúor generando un enriquecimiento para suelo (Bustillos A. et al., 2017, p.23).

1.2.7. Características físicas de la ceniza

Las principales características físicas de la ceniza volcánica son: el color que está en dependencia directa del grado de absorción de la radioactividad y va según la abundancia de Ti y Fe. La ceniza de color blanco es de característica fina y fácilmente se cementa con la lluvia, mientras que la ceniza de color negro es gruesa similar a la arena (Ayrís y Delmelle, 2012, p. 1910).

Otra característica es la densidad de las partículas de ceniza, la cual depende de la porosidad, cristalinidad, transporte y composición química, pues los componentes basálticos que poseen abundante Fe/Ti tienen densidades entre $2400-3200 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, mientras que los componentes silíceos con bajo Fe/Ti conservan una densidad de $2150 \text{ a } 2600 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (Ayrís y Delmelle 2012, pp. 1910-1911).

1.2.8. Mecanismos de dispersión de ceniza volcánica

Existe dos tipos de mecanismos de dispersión de la ceniza volcánica, el primero es la pluma derivada del viento, la cual forma una columna que asciende mediante convección, en este proceso los gases que se encuentran en el interior impulsan la convección en la parte superior hasta que las partículas por su densidad igualen al vapor atmosférico. Se genera entonces una nube con una extensión grande a manera de paraguas, la cual tiene la función de transportar el material de la explosión (Engwell y Eychenne, 2016, p.70).

El segundo tipo es la pluma Co-PDC o pluma convectiva, esta se origina debido a la propagación de corrientes de densidad piroclásticas (PDC). Se caracteriza por la generación de penachos secundarios y difiere de la anterior debido a que no posee una región de empuje en su base, pues comienza por una inversión de flotabilidad de PDC que tiene una gran área de fuente (Engwell y Eychenne, 2016, p.72).

1.2.9. Contaminación de los suelos agrícolas de Tungurahua y Chimborazo por metales pesados

Los suelos del Ecuador tienen diversos usos dependiendo de la región, generalmente los usos más frecuentes son la agricultura, ganadería, urbanización, bosques, etc., es por ello que las provincias de Tungurahua y Chimborazo se caracterizan por poseer un elevado índice de producción agrícola y ganadera, ya que de ellas se expande para todo el país gran cantidad de alimentos como carnes, vegetales, hortalizas, frutas, etc., (Podwojewski, Janeau y Leroux, 2008, p.180).

Estos suelos tienen la característica de contener gran cantidad de ceniza volcánica debido a la posición geográfica en la que se ubican y siendo además las dos provincias que se ven más afectadas ante las sucesivas erupciones del volcán Tungurahua, es por ello que al tener gran cantidad de ceniza se presume que dentro de su composición exista un cierto porcentaje de metales pesados y otros componentes que son propios de la ceniza (Podwojewski, Janeau y Leroux, 2008, p.181).

1.2.10. Importancia del estudio de la contaminación de suelos a causa de metales pesados

La contaminación del suelo por metales pesados es uno de los problemas más importantes que aquejan al siglo XXI, debido a que cuando estos metales rebasan las concentraciones máximas permitidas desencadenan un descenso de la población microbiana y un impacto negativo en el desarrollo de las plantas y por ende afecta a la calidad de los alimentos que se ofertan a los consumidores (Méndez et al., 2009, p.3).

La seguridad alimentaria se puede ver drásticamente afectada, pues los metales pesados absorbidos por las plantas generan problemas de biomagnificación y bioacumulación, y estas a la vez son consumidas a lo largo de la red trófica (Chaparro G. et al, 2016, p.2).

Al presentar una elevada toxicidad, el impacto causado en la salud de los seres humanos por el consumo de estos alimentos causa afecciones que van desde daños en órganos vitales hasta desarrollar problemas cancerígenos (Reyes et al., 2016, p.2).

1.2.11. Fuentes de contaminación por metales pesados

La concentración de metales pesados puede deberse a causas naturales que involucran procesos geogénicos y a causas antropogénicas que implican la generación de residuos, emisiones y vertidos al ambiente (Navarro A. et al., 2007, p.3)

Los procesos geogénicos dependen de la geodisponibilidad de los metales pesados en el suelo tras provenir de la roca madre por procesos de meteorización o por actividades volcánicas y lixiviados de mineralizaciones; la emisión de metales pesados dependerá de la estabilidad termodinámica y estructura de la roca, por lo general esta aportación al suelo es insignificante, ya que estos metales son estables en el suelo y tras un proceso de meteorización se concentran sin superar los umbrales de toxicidad, puesto que se hallan estables y poco disponibles. Rocas como las peridotitas muestran alta concentración de metales como: cromo, níquel, cobre y manganeso; mientras que

rocas ígneas ácidas y sedimentarias presentan bajas concentraciones de estos metales (Huertos y Baena, 2008, p.49).

Por otro parte, la concentración de metales pesados en el suelo se debe principalmente a actividades antropogénicas como la fundición, uso de fungicidas, galvanoplastia, aguas residuales de parques industriales o municipales y aguas procedentes de desechos mineros (Cobb et al., 2000, p. 601). La industria minera a menudo afecta a extensas áreas de suelo debido al manejo inadecuado de sus residuos, los cuales contienen metales pesados como: cadmio, arsénico, plomo, entre otros (Huerta, 2012, p.104). El uso de aguas residuales para el riego de cultivos provoca el cambio de las propiedades fisicoquímicas del suelo, además las plantas al absorber estas aguas acumulan mayores concentraciones de estos metales pesados, similares efectos pueden generar la utilización de agroquímicos y estiércol fresco en la agricultura (Reyes et al., 2016, p.3).

1.2.12. Dinámica de los contaminantes en el suelo

La movilidad de metales pesados se halla relacionada con su disponibilidad, su potencial de lixiviarse hacia los distintos perfiles del suelo hasta llegar a aguas subterráneas, así como con la asociación de dichos metales con la fase sólida del suelo (Rieumont et al., 2013, p.286). El desplazamiento de metales pesados suele ser muy bajo, es así que, suelen quedarse retenidos en los primeros horizontes del suelo, por lo que su concentración decrece en los horizontes inferiores (Huertos y Baena, 2008, p.49). La distribución de estos metales puede ser inicialmente de rápida retención seguida de lentas reacciones, que dependerán del tipo de metal, tiempo, el nivel de profundidad alcanzada en el suelo por el metal, así como por las propiedades del suelo (Méndez et al., 2009, p.4).

En general, los metales pesados en el suelo no se encuentran de forma inalterable, sino más bien siguen cierta dinámica que involucra cuatro diferentes vías: la primera, quedar retenidos en el suelo por precipitación, adsorción, complejación o de forma disuelta y fija (Navarro A. et al., 2007, p.3). La segunda, adsorbidos encima de componentes inorgánicos; tercera, incorporándose al suelo a través de la materia orgánica y cuarto, como sólidos mixtos o puros de forma precipitada (Méndez et al., 2009, p.5). Asimismo, pueden ser movilizados hacia aguas subterráneas o superficiales; ser volatilizados hacia la atmósfera o absorbidos por parte de plantas para su posterior integración a la cadena trófica (Navarro A. et al., 2007, p.4).

1.2.13. Formas de retención y disponibilidad de metales en el suelo

Los metales pesados en el suelo pueden hallarse como compuestos de sales metálicas solubles, como iones disponibles o bien como compuestos insolubles o parcialmente solubles como son los óxidos, hidróxidos y carbonatos. Estos metales como iones disponibles en el suelo pueden generar daños irreversibles en seres vivos como la interrupción de sus actividades biológicas (Méndez et al., 2009, p.6).

Actualmente se emplean plantas como técnica de fitorremediación que permita la estabilización, neutralización o degradación de metales pesados presentes en el suelo, plantas como la de tabaco han demostrado ser óptimas para la extracción de cadmio y plomo, esta técnica de bajo costo por lo general mantiene su capacidad de degradación gracias a su crecimiento (Méndez et al., 2009, p.6).

A menudo se aconseja agregar materiales ricos en elementos orgánicos, como: compost, aserrín, corteza de árbol o lignito de grano o polvo, para reducir el transporte y biodisponibilidad de metales pesados; la adición regular de materia orgánica en cantidades grandes puede inhibir la absorción de este metal en solución del suelo (Zwolak et al., 2019, p.165).

1.2.14. Factores que afectan la disponibilidad de metales

En la asociación de metales pesados con la fase sólida del suelo influyen factores, tales como: contenido de materia orgánica, pH, presencia de carbonatos, potencial redox y niveles de elementos como hierro y manganeso (Rieumont et al., 2013, p.286-287). Otros factores relacionados son también la composición iónica de la solución del suelo, textura y capacidad de intercambio tanto catiónico como aniónico (Méndez et al., 2009, p.10).

La contaminación por metales pesados en el suelo es un gran problema en todo el mundo, pues algunos de los metales pesados como el hierro, zinc, manganeso y cobre son importantes en el suelo en concentraciones bajas, pero otros como el cadmio, cromo, plomo y arsénico son tóxicos y llegan a ser una amenaza fuerte para animales, plantas y el ser humano. (Zeng et al., 2011, p.85).

Cuando el contenido de metales pesados en el suelo es alto, las plantas aumentan su potencial de absorción; por lo tanto, estos se bioacumulan en ellas (García y Moreno, 2002, p.2). En el suelo dichos metales pesados pueden encontrarse en diversas formas según sus niveles de solubilidad: en componentes orgánicos (intercambiables), en solución de suelo (disueltos), precipitados con otros componentes (insolubles) y como componentes estructurales de celosías ; de estas solo las dos

primeras son absorbidas por las plantas y para ello necesitan primordialmente la movilidad del metal y la disponibilidad del suelo (Zeng et al., 2011, p.85).

La disponibilidad y movilidad de los metales pesados dependen de las propiedades de adsorción y desorción que presenten los suelos; y de factores que influyan en la adsorción y desorción como: pH, capacidad de intercambio catiónico, contenido de materia orgánica, estado de oxidación-reducción, carbonato de calcio, óxidos de hierro y manganeso y contenido de arcilla mineral (García y Moreno, 2002, p.3).

1.2.15. Propiedades del suelo y su dinámica con los metales pesados

1.2.15.1. pH

El pH nos permite conocer muchas propiedades del suelo, las diferentes variaciones de pH se deben a la asociación de cambios climáticos, disposición de nitrógeno, sistemas de amortiguamiento, disponibilidad de metales pesados y tipo de plantas que se encuentren en este suelo (Li et al., 2020, p.361). El pH es una de las propiedades que controlan los bioprocesos geoquímicos del suelo, su fertilidad e influye en el funcionamiento y estructura de los ecosistemas (Hong, Gan y Chen, 2019, p.160).

El pH en los suelos es uno de los parámetros más relevantes, pues es un determinante en la eventual disponibilidad y movimiento de metales en el suelo, así como en su conjunto, solubilidad de superficies minerales, especiación de metales y en la solución del suelo (Zeng et al., 2011, p.86).

Varios estudios han evidenciado que una correlación negativa entre el pH, la movilidad y disponibilidad de metales pesados para las plantas es buena; pues una disminución del pH permite que se incremente la desorción de metales pesados en el suelo, mientras que la movilidad y la biodisponibilidad aumenta, esta correlación negativa provoca que se disminuya la absorción de los metales pesados representando un peligro menor para los seres humanos (Bravo et al., 2017, p.80).

1.2.15.2. Textura

La textura del suelo es un referente importante en cuanto a la disponibilidad de metales pesados (Paz-Ferreiro et al., 2018, p. 122), los suelos arcillosos son los que más retienen los metales pesados por medio de adsorción o cuando existe un complejo de cambio entre los minerales de arcilla.

Mientras que los suelos arenosos son incapaces de fijar los metales, lo que lleva a una contaminación del nivel freático (Huertos y Baena, 2008, p.51).

Los suelos de textura franca arenosa contienen baja cantidad de materia orgánica, lo cual provoca una baja cantidad de metales pesados retenidos en el suelo, demostrando así que la contaminación por estos elementos en suelos con textura franca arenosa es menor (García et al., 2009, p.167). Se produce un mayor contenido de materia orgánica en lugares con elevado contenido de sedimentos finos. El contenido de limo demuestra que la fracción más gruesa contiene mayor cantidad de metales pesados (Keshavarzifard, Moore y Sharifi, 2019, p.181)

1.2.15.3. Condiciones óxido-reducción

El potencial redox es el que muestra cómo se encuentra el metal en el suelo, ya sea oxidado o reducido (Huertos y Baena, 2008, p.51). El potencial redox en los suelos saturados afectan fuertemente las formas de fase sólida a solución de metaloides y metales (Jr y Verloo, 2008, p.168).

La mayoría de los metales pesados suelen formar sulfuros ligeramente insolubles en condiciones elevadamente reductoras, esto generalmente incluye al Pb, Co, Cu, Ni, Cd y Zn. Mientras que el Fe y Mn son metales que pueden formar compuestos solubles a estas condiciones (Mahecha-Pulido, Trujillo-González y Torres-Mora, 2015, pp.45-46)

1.2.15.4. Materia orgánica

El contenido de materia orgánica en los suelos afecta a la disponibilidad y movimiento de los metales pesados, ya que contribuye de gran manera en la capacidad del suelo para la retención de los metales pesados presentes en forma intercambiable. Además adiciona productos químicos orgánicos a la solución del suelo, los cuales pueden ser utilizados como quelatos provocando un aumento en la disponibilidad de metales para las plantas (Zeng et al., 2011, pp.86-87).

En la disponibilidad de metales pesados el papel de la materia orgánica es muy estudiado, debido a que si disminuye la cantidad de materia orgánica disminuye la adsorción del metal sobre los componentes del suelo, adicionalmente la materia orgánica disuelta en los suelos puede aumentar la adsorción y movilidad de los metales pesados por las raíces de las plantas (Zeng et al., 2011, p.87).

1.2.15.5. Capacidad de intercambio catiónico

En el suelo el poder que muestra la capacidad de cambio (intercambio catiónico) está en dependencia del tipo de minerales de arcilla, valencia, radio iónico (hidratación del metal) y contenido materia orgánica. Cuando en los metales existe mayor tamaño y valencia menor, existe menos retención (Huertos y Baena, 2008, p.51).

La capacidad de intercambio de cationes (CEC) indica la medida de cationes intercambiables que son desplazados de los sedimentos. Las partículas finas tienen una alta CEC lo cual señala que existe una mayor adsorción y disponibilidad de metales pesados en el suelo (Keshavarzifard, Moore y Sharifi, 2019, p.179).

1.2.15.6. Presencia de otros elementos

La disponibilidad y movimiento de los metales pesados tienden a verse influenciadas por otros metales, por ejemplo, el cadmio con relación al zinc; la concentración de zinc influye sobre la adsorción de cadmio en las plantas y esto se debe a que, estos dos metales pesados tienen una estructura iónica muy similar (Mahecha-Pulido, Trujillo-González y Torres-Mora, 2015, p.48).

1.2.16. Propiedades de micronutrientes

1.2.16.1. Cobre

El cobre es un elemento de coloración rojiza que se encuentra en agua, tierra, rocas, sedimentos y aire, al igual que en las plantas y animales, la concentración típica de cobre dentro de la corteza terrestre es de 50 mg/kg. El cobre es un micronutriente esencial para procesos metabólicos de plantas y necesario para la ejecución de actividades enzimáticas en seres vivos (Shrivastava y Jaiswal, 2013, p.264)

El cobre puede relacionarse con ácidos orgánicos y minerales, por lo que su estrecha interacción con coloides inorgánicos y orgánicos en el suelo y su baja movilidad dan como resultado una menor bioacumulación en hojas de plantas; asimismo, una gran concentración en raíces y hojas de dicho metal dificulta la movilidad de electrones a lo largo de la fotosíntesis, menorando así la proporción de clorofila y modificando la estructura del cloroplasto (Wolf et al., 2017, p.153).

Por otra parte, el cobre a diferencia de otros metales posee un movimiento relativamente bajo en plantas (Huerta, 2012, p.105). Este metal puede modificar la estructura de lípidos e inducir la salida de solutos de la célula (Navarro A, et al., 2007, p. 11). Asimismo, el cobre puede reprimir procesos reproductores y fotosintéticos de las plantas (Huerta, 2012, p.105).

1.2.16.2. Manganeso

El manganeso es un metal que se halla en el suelo en forma de óxido, hidróxido o formando compuestos con otros metales. Este es un micronutriente esencial para plantas, pero al acumularse en elevadas concentraciones en la superficie del suelo resulta tóxico (Rieumont et al., 2013, p.287). Este metal es difícil de absorber en suelos y fácil de absorber por parte de plantas, es así que puede llegar a varios de sus órganos o partes (Méndez et al., 2009, p.9).

Este metal puede sustituir elementos como calcio y magnesio esenciales para plantas en algunos suelos, por lo general, el manganeso tiende a acumularse mayoritariamente en hojas y en menor concentración en raíces de plantas de rábanos y espinacas, el manganeso es necesario para la activación de enzimas del metabolismo vegetal y en el fotosistema (Méndez et al., 2009, p.9).

1.2.16.3. Hierro

El hierro es un micronutriente que puede hallarse en el estiércol de animales como el porcino, este elemento es esencial para el desarrollo y procesos metabólicos de plantas, sin embargo, altas concentraciones de este elemento puede ser tóxico para estos organismos vivos, por lo que es importante controlar su concentración en el suelo (Wolf et al., 2017, p.154).

Por otra parte, el hierro es un metal disponible gracias a exudados que permiten su absorción en suelos que poseen poca concentración del mismo (Navarro A. et al., 2007, p.5). Este metal tiene consecuencias antagónicas con el cobre y zinc, así como consecuencias sinérgicas con el cadmio en el suelo (Huerta, 2012, p.104).

1.2.16.4. Zinc

El zinc es un micronutriente necesario para el desarrollo de plantas que de manera natural puede hallarse en suelos (Méndez et al., 2009, p.10). Este metal puede encontrarse también en el ambiente debido a actividades industriales, materiales compostados, uso de estiércol líquido y agroquímicos como pesticidas y fertilizantes en la agricultura, el zinc puede presentarse a su vez en el suelo por una deposición aérea. La concentración común de zinc dentro de los suelos agrícolas se encuentra entre 15 a 277 mg/kg (Romic y Romic, 2003, p.796).

Este metal puede ser absorbido en grandes concentraciones en plantas de rábanos, es así que tiende a acumularse en mayor grado en hojas causando su marchitamiento, así como también una reducción de biomasa y longitud radicular; en plantas como zanahoria tiende a disminuir la extensión de raíces y a concentrarse en mayor cantidad en las mismas (Méndez et al., 2009, p.10).

1.2.17. Propiedades de metales pesados

1.2.17.1. Cromo

El cromo es un elemento presente dentro de la corteza terrestre, este metal se halla tanto en fuentes naturales como antropogénicas, es ampliamente empleado en numerosas industrias, tales como: metalurgia, refractaria y química, como resultado de su uso se ha generado su liberación al ambiente principalmente en forma hexavalente (Tchounwou et al., 2012, p.134).

Por lo general, el cromo se halla presente de forma natural en el ambiente en niveles bajos por lo que en condiciones normales no representa una amenaza de toxicidad, es así que en ríos se presenta en un rango de 1 a 10 ug/L y en alimentos de 50 a 200 ug/día (Méndez et al., 2009, p.11).

El cromo es un metal no esencial para la vida de las plantas, es así que dosis altas de cromo pueden causar trastornos metabólicos, inhibición del crecimiento e inclusive la muerte para muchas especies de plantas. El grado de absorción de cromo varía ampliamente en cada una de las partes que constituyen a la planta; este metal puede acumularse en niveles altos dentro de las raíces en comparación con hojas o tallos: además, la absorción de cromo resulta ser dificultosa en suelos con escalas de pH neutro, altos niveles de arcilla y con presencia de materia orgánica (Yadav et al., 2009, p.613).

1.2.17.2. *Níquel*

El níquel es un metal que de forma natural puede hallarse en suelos pues es conocido por su considerable variación espacial y temporal en el suelo inclusive a pequeña escala (Romic y Romic, 2003, p.797). Este elemento resulta no esencial para plantas por lo que su demanda es de menos de 0.001mg/kg de peso seco, por lo general se encuentra ligado a formas orgánicas de tal manera que constituyan quelatos solubles (Méndez et al., 2009, p.11).

Este metal suele ser de difícil adsorción en suelos y de fácil adsorción en plantas, en las cuales es tóxico, ya que puede trasladarse hacia tejidos de plantas y acumularse en hojas y semillas; la biodisponibilidad de este metal en la planta dependerá de factores como: contenido de arcilla, óxidos e hidróxidos, materia orgánica y pH. Asimismo, en las células el níquel llega a acumularse en la vacuola (Navarro A, 2007, p. 6). Por otra parte, cultivos de maíz que fueron sembrados en suelos arcillosos, presentan una mayor absorción de níquel a diferencia de otro tipo de suelos que poseen el mismo cultivo (Méndez et al., 2009, p.11).

El uso continuo de aguas residuales para el riego de cultivos mejora la cantidad de nutrientes y las características fisicoquímicas de suelos, especialmente en aquellos de tipo arcilloso-arenoso, pero también generan una tendencia creciente en la concentración de níquel, revelando una considerable tasa anual de acumulación de este metal. En suelos contaminados con níquel se suele hallar también hierro y cobalto debido a la analogía entre las características y propiedades similares entre estos tres elementos (Méndez et al., 2009, p.11).

1.2.17.3. *Cadmio*

El cadmio es un elemento ampliamente distribuido dentro de la corteza terrestre, pues presenta una concentración media de 0.1 mg/kg, este elemento se emplea en numerosas actividades industriales, como en la elaboración de aleaciones, pigmentos y baterías. Dentro de las principales rutas de exposición se encuentra la inhalación de humo de cigarrillo e ingesta de alimentos como: vegetales, papas y semillas; además de que puede ser peligroso para la salud afectando al hígado, pulmones y riñones (Tchounwou et al., 2012, p.135)

La concentración de cadmio por lo general es menor en frutos, raíces y semillas, es así que se ha determinado que existe una proporción de este elemento de 1:5 con respecto a raíces y hojas, por otra parte, ciertas partes de la planta como las hojas presentan mayor acumulación de cadmio (Cobb et al., 2000, p.605). Asimismo, concentraciones altas de cadmio producen un marchitamiento de hojas, así como una disminución de la longitud de la raíz y biomasa (Méndez et al., 2009, p.12). El

cadmio es considerado como un contaminante de alimentos atribuible al uso frecuente de fertilizantes fosfatados en la agricultura, la utilización de dichos fertilizantes provoca que la acumulación de este metal se duplique especialmente en las plantas (Wolf et al., 2017, p.153-154).

1.2.17.4. Plomo

El plomo es un elemento presente en la corteza terrestre en pequeñas cantidades, si bien el plomo se halla naturalmente en el ambiente, también puede encontrarse por actividades antropogénicas vinculadas a la quema de combustibles fósiles, minería y producción de bienes industriales y agrícolas (Tchounwou et al., 2012, p.136)

La movilidad del plomo suele ser muy baja en el suelo, incluso es aún menor en suelos que registran un pH alto; este metal puede ser acumulado a través de los años, pues sus concentraciones pueden disminuir en un 50% en 740 a 5900 años (Rieumont et al., 2013, p.287). Por general precipita como carbonato, hidróxido o fosfato, siendo estos estables y poco propicios de ser asimilados por plantas (Rieumont et al., 2013, p.288). Este elemento puede ser frenado a través del empleo de fósforo y óxidos de magnesio, aunque puede afectar la disponibilidad de zinc (Méndez et al., 2009, p.12).

La concentración de plomo en las plantas puede generarse por una deposición atmosférica o por una absorción del suelo que genera una gran concentración en las raíces, pues su traslocación es limitada a otras partes de la planta. Asimismo, el plomo puede colocarse en hojas y frutos de las plantas gracias al polvo atmosférico y pese a que el mismo puede ser lavado, gran parte puede ser absorbido por las células de las hojas y pasar a formar parte del tejido de la planta (Rieumont et al., 2013, p.288). Se ha reportado que dosis de plomo pueden ser mayores en órganos de plantas que en el suelo, provocando la reducción de la producción de clorofila y su muerte (Méndez et al., 2009, p.12).

1.2.18. Umbrales de contaminación de los metales pesados en el suelo

Los umbrales de contaminación del suelo suelen ser diferentes para cada país e incluso región en donde se propone los niveles máximos permisibles de cada metal pesado, estos estarán relacionados con el tipo y uso de suelo, historia y clima de esa región o país (Huertos y Baena, 2008, p.50).

Por lo general, para suelos no contaminados el nivel de referencia de metales pesados se obtiene a partir del percentil del 90% de las cantidades pertenecientes a suelos no contaminados, para este umbral es necesario identificar la cantidad total del macronutriente o micronutriente, así como el pH del suelo. Se han establecido fondos geoquímicos regionales por medio de los distintos contextos geológicos a fin de establecer si dichos metales pesados son de origen natural o antropogénico (Huertos y Baena, 2008, p.51).

Por lo general metales como: níquel, cromo, zinc y plomo varían entre 1-1500 mg/kg, otros elementos como cobre, arsénio y cobalto se encuentran entre 0.1 y 250 mg/kg y otros metales como mercurio y cadmio con menores proporciones que van desde 0.01 a 2 mg/kg (Huertos y Baena, 2008, p.51). Se han establecido asimismo rangos de concentraciones de metales pesados como plomo entre 10 y 150 mg/kg, para el cadmio entre 1 y 2 mg/kg y para el arsénio entre 5 y 40 mg/kg (Miranda et al., 2011, p.183). Las concentraciones geoquímicas normales y anómalas de elementos como: arsénio, cadmio, cobre, molibdeno, níquel, plomo, selenio y zinc se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 1-1: Concentraciones geoquímicas

Metal	Concentración normal (ppm)	Concentración anormal (ppm)
Arsénio	<5-40	Hasta 2500
Cadmio	<1-2	Hasta 30
Cobre	60	Hasta 2000
Níquel	2-100	Hasta 8000
Plomo	10-150	10000 o más
Zinc	25-200	10000 o más
Molibdeno	<1-5	10-100
Selenio	<1-2	Hasta 500

Fuente: (Huertos y Baena, 2008, p.54)

Realizado por: Erazo, E.; Morales, V. 2020

1.2.19. Metales pesados en Material Vegetal

1.2.19.1. Dinámica de metales pesados en plantas

Agua e iones inorgánicos son trasladados a través de células del tejido xilemático desde la raíz hacia hojas, por medio de fuerzas de osmosis y succión. La fuerza de osmosis se genera como resultado de una diferencia de concentración a fin de dar paso a un potencial hídrico ascendente, ya que dicha concentración es mayor en las hojas que en la raíz; por otra parte, la fuerza de succión ocasiona la atracción de agua desde la raíz hacia las hojas como producto de la transpiración que sufren las hojas por la pérdida de agua (Cobb et al., 2000, p. 604).

Los metales pesados pueden llegar a la raíz a través de un intercambio catiónico, pues al poseer la rizodermis cargas negativas se genera una interacción con las cargas positivas de metales pesados, provocando que la membrana plasmática se vea afectada por la paralización de sus proteínas esenciales, por el entrecruzamiento y oxidación de proteínas, así como también por la alteración de la composición de lípidos que modificaran la permeabilidad (Navarro A. et al., 2007, p.5). A pesar de dichos efectos, la membrana puede ser capaz de tolerar estos metales a través de la reducción de la captación de estos elementos o por la estimulación de bombas de flujo de metales que causan el ingreso al citosol (Navarro A. et al., 2007, p.6). La sensibilidad a metales pesados varía según la especie, es así que plantas vasculares son más tolerantes debido a factores fisiológicos y genéticos que poseen (Méndez et al., 2009, p.13).

1.2.19.2. Formas de retención y disponibilidad de metales en plantas

Un aspecto trascendental para la acumulación de metales pesados es la complejación, pues a través de este proceso el metal es rodeado por ligandos como fitoquelatinas y metalotioneinas que permiten generar un complejo; este mecanismo es empleado en el interior de la célula de la planta a fin de que el metal se encuentre sumido en una interacción química que lo mantenga acomplejado o en equilibrio electrónico; de esta forma el metal no es desechado del citoplasma sino que se mantiene como un potencial tóxico; asimismo, el complejo ligando-metal puede también quedar retenido en una vacuola, a fin de que la concentración se reduzca en el citoplasma por medio de la generación de complejos de alto y bajo peso molecular (Navarro A. et al., 2007, p.7).

El proceso de biotransformación permite que un compuesto se transforme químicamente, a través de la reducción de una sustancia tóxica y de su tiempo de residencia; para ello es necesario

aumentar la polaridad a fin de que la difusibilidad del tóxico incremente y pueda ser desechado, es decir que, un xenobiótico no polar pueda ser soluble en agua; por otra parte, existen mecanismos de reparación celular que, ante un deterioro de la célula por metales pesados, son activados para reponer rasgos iniciales de la misma, dichos mecanismos son empleados en la reparación de errores de copias de ADN y de la membrana plasmática, en esta última reparación se emplean metalotioneinas y proteínas de choque térmico que sirven como respuesta a subidas de temperatura (Navarro A. et al., 2007, p.7).

1.2.20. Determinación de metales pesados en muestras de suelo

1.2.20.1. Digestión ácida

Técnica empleada para la determinación de metales contenidos en muestras de suelo o de vegetales, este tipo de técnica puede ser llevada a cabo por vía húmeda o seca. En el caso de la digestión ácida por vía húmeda, se suelen emplear ácidos, bases o agentes oxidantes que aseguren la completa disolución de la materia orgánica; por su parte la digestión ácida por vía seca, se basa en la incineración de la muestra, para ello utiliza muflas que permitan la realización de procesos de calcinación, seguido de la utilización de ácidos, bases o agentes oxidantes (Chaparro G. et al., 2016, p.3).

Por lo general ambas técnicas suelen requerir de tiempo y grandes volúmenes de ácidos, los cuales pueden contribuir con la generación de impactos negativos sobre el ambiente, pues se suelen formar residuos y emisiones de vapores tóxicos; asimismo, puede generar la pérdida de elementos volátiles, disoluciones incompletas, contaminación de muestras o precipitación de analitos insolubles (Chaparro G. et al., 2016, pp.3-4). Para minimizar estos posibles inconvenientes hoy en día se han implementado procedimientos que permitan que la digestión sea asistida por microondas o ultrasonido, a fin de que se genere la máxima dilución de la muestra. (Chaparro G. et al., 2016, p.4).

1.2.20.2. Digestión por microondas

Esta técnica se basa en la utilización de ácidos los cuales se hallan diluidos en tubos de politetrafluoroetileno herméticamente sellados, estos tubos son resistente a temperaturas superiores al punto de ebullición del ácido nítrico. Comúnmente el proceso de digestión por microondas se suele completar en alrededor de una hora (Soylak et al., 2007, p.265).

Por lo general, soluciones de ácido mineral diluido pueden absorber con mayor intensidad la energía emitida por el microondas, como resultado de su contenido de agua; gracias a esto, se puede reducir el consumo de ácido, el tiempo de preparación y la contaminación del medio. Frecuentemente el proceso de digestión por microondas puede funcionar sin supervisión y puede simplemente transferirse a diferentes laboratorios (Soylak et al., 2007, p.265).

La digestión por microondas es un proceso óptimo ya que a diferencia de la digestión húmeda es apropiado con respecto al tiempo y a la recuperación de las muestras. Sin embargo, el volumen de la muestra debe seleccionarse rigurosamente a fin de evitar una presión excesiva durante la digestión (Soylak et al., 2007, p.267). Cada muestra para analizar podría necesitar un programa de microondas diferente debido a las propiedades que puedan presentar. En general los procedimientos de digestión por microondas se desarrollan como una técnica de preparación de muestras rápida y duplicable para un excelente estilo de matrices avanzadas (Soylak et al., 2007, p.268).

1.2.21. Espectroscopía de absorción atómica con atomización por llama

Técnica espectroscopia empleada para la determinación y cuantificación de metales, esta técnica abarca un conjunto de métodos fundamentados en la emisión, absorción y fluorescencia de la radiación generada a través del vapor atómico (Romero Flores, 2017, p.23). Los procesos espectroscópicos atómicos abarcan como primer paso la atomización, pues en este proceso la muestra se volatiliza y descompone de tal manera que genera un gas atómico; la determinación de átomos con radiación ultravioleta-visible se realiza únicamente por medio de una fase gaseosa en donde los átomos se hallan alejados unos de otros (Romero Flores, 2017, p.33)

Esta técnica espectroscópica se basa en la absorción de radiación de una longitud de onda establecida por aquellos átomos libres, para ello es necesario que el analito se encuentre liberado del medio gaseoso, en donde los átomos se encuentran apartados entre sí (Gabriel, Botello y Angulo, 2014, p.3). Es por ello que la muestra previamente sometida a un proceso de digestión es succionada a través de un capilar y posteriormente convertida en un aerosol para su posterior nebulización, para ello es necesario la utilización de un flujo de gas oxidante combinado con gas combustible que se convierte en una llama, la cual es traspasada a una longitud de onda por un haz de radiación que da paso a la atomización (Martín, 2017, p.46). Selectivamente la radiación emitida es absorbida por átomos que contengan niveles energéticos donde la diferencia en energía pertenezca a la energía de fotones incidentes (Gabriel, Botello y Angulo, 2014, p.5).

Al ser una técnica rápida y sencilla, suele ser empleada en la determinación de metales que no precisen de un límite de detección demasiado bajo como es el caso de elementos como zinc, hierro, cobre o manganeso, debido a que la sensibilidad de esta técnica es algo menor (Martín, 2017, p.48).

1.2.21.1. Tipo de llama

Para generar átomos en estado fundamental se suelen utilizar llamas de combustión premezcladas o de difusión, la primera llama, se halla compuesta por un combustible y agente oxidante gaseoso; mientras que en la segunda llama, el combustible es adicionalmente el gas portador que se quema al entrar en contacto con el aire, por lo general la temperatura de esta llama es menor a la de la llama premezclada, pues esta generalmente usa como agente oxidante al aire u óxido nitroso y como gas combustible al propano, acetileno o hidrógeno (Moldovan, 2018, p.2).

Comúnmente la llama de acetileno y aire es la más utilizada, debido a que es estable, fácil de controlar y produce una amplia atomización para generar una adecuada sensibilidad y libertad de varias interferencias entre elementos (Moldovan, 2018, p.2-3). Mas de treinta elementos pueden ser evaluados a través de esta llama, aunque las condiciones de la llama podrían tener que ser ajustadas para crear una atmósfera apropiada para algunos elementos (Moldovan, 2018, p.3).

Otra llama premezclada que se usa notablemente es la llama de óxido nitroso y acetileno, pues al ser caliente y reductora se suele utilizar para determinar varios elementos. Esta llama cuenta con la presencia de un radical gaseoso que elimina oxígeno para generar una temperatura alta que promueva la disociación; existe otra llama de difusión de hidrógeno, la cual es empleada para establecer selenio y arsénico, esta llama en sí es clara en un gran rango espectral (Moldovan, 2018, p.4).

1.2.21.2. Introducción de muestra

Para que la llama funcione adecuadamente y genere un vapor atómico, es necesario que la muestra a analizar se presente como un aerosol fino, para ello se emplea un nebulizador y una cámara de pulverización antes del quemador. La solución de la muestra es absorbida a través de un tubo capilar debido a la presión reducida creada en la punta del tubo por el flujo oxidante (Moldovan, 2018, pp.4-5).

A lo largo de este método, la muestra se rompe en pequeñas gotas a medida que es expulsada del tubo capilar para generar un aerosol, el cual pasa a la cámara de pulverización, la cual homogeniza cada uno de los aerosoles y gases que tienden a amortiguar las fluctuaciones en el nebulizador y eliminar gotas gigantes antes de que lleguen a la llama (Moldovan, 2018, p.5).

1.2.21.3. Proceso de atomización en la llama

Una vez que el aerosol alcanza la llama, las gotas se fraccionan para crear una niebla que luego se fusiona y evapora, este método dependerá del número de partículas y su dimensión, así como de la mezcla de la llama y su composición (Moldovan, 2018, p.6). Generalmente la vaporización es instantánea, pues las moléculas que se hallan formando el vapor se descomponen prácticamente al instante en átomos individuales (Moldovan, 2018, pp.5-6).

Debido a que la concentración absoluta del analito dentro de la llama es considerablemente pequeña, el nivel de presión saturada no debe rebasarse incluso a temperaturas inferiores a la del punto de fusión; además, el espacio que recorre la muestra a través de la llama antes de la atomización puede ser extremadamente corto (Moldovan, 2018, p.6).

1.3. Bases Legales

1.3.1. Constitución de la república del Ecuador (publicada en el registro oficial 449 del 20 de octubre de 2008)

La Constitución de la Republica del Ecuador, es la norma legal más importante del Estado y base del ordenamiento jurídico. Las normas constitucionales que se establecen son de carácter declarativo, en esta se detallan los derechos de los ciudadanos de manera general, en base a leyes y códigos de carácter secundario (Asamblea Nacional Constituyente, 2008, p.9).

“Art.120.- Es de interés público y prioridad nacional la conservación del suelo, en especial su capa fértil. Se establecerá un marco normativo para su protección y uso sustentable que prevenga su degradación, en particular la provocada por la contaminación, la desertificación y la erosión” (Asamblea Nacional Constituyente, 2008, p.55).

1.3.2. Código Orgánico Ambiental (COA)

El Código orgánico ambiental, expone en el artículo 4, que todos los niveles de gobierno deben orientar un aprovechamiento sostenible de la gestión del suelo en función de su restauración, conservación y uso sostenible; además, el artículo 5 señala que es primordial determinar aquellos sectores críticos a fin de implementar medidas y acciones que permitan prevenir y mitigar los impactos ambientales causados en suelos urbanos y rurales (Ministerio del Ambiente, 2019, p.5).

Por otra parte, el artículo 289 menciona que las actividades que se ejecuten en bosques y vegetación deben ser acorde al uso de suelo según su plan de manejo ambiental y normativa; asimismo, el artículo 292 indica que productos forestales no maderables podrán ser aprovechados siempre que esta actividad no involucre el cambio de uso o la conversión de suelo; también, el artículo 330 informa que la Autoridad Ambiental Nacional será quien conceda autorizaciones de transformación de uso de suelo del patrimonio forestal; por su parte, el artículo 332 establece que por medio de la Autoridad Ambiental Nacional se realizara lineamientos que garanticen la restauración de suelos, priorizando suelos degradados o en fase de desertificación (Ministerio del Ambiente, 2019, p.90).

El artículo 543 recalca que los abastecedores tendrán como obligación manejar las sustancias de mezcla o puras a fin de controlar posibles riesgos para el ambiente, así mismo se deberá manejar condiciones de seguridad que eviten que dichas sustancias tengan contacto con recursos como el suelo; de la misma forma, el artículo 626, menciona que aquellos generadores deberán guardar y manejar dentro sus instalaciones los residuos o desechos especiales o peligrosos para evitar su contacto con el suelo; por otro lado, el artículo 629 indica que los operadores deberán ejecutar normativas de uso y ocupación de suelo para realizar la gestión de almacenamiento (Ministerio del Ambiente, 2019, p.162).

El artículo 639 informa que la disposición final de residuos o desechos especiales y peligrosos no se deben eliminar en suelo de tipo urbano, salvo que el ordenamiento territorial lo permita, así mismo no se ubicaran en suelos saturados que incluyan el borde costero o riberas húmedas salvo que una adecuada impermeabilización y un flujo bajo tres metros (Ministerio del Ambiente, 2019, p.201).

El artículo 749, establece que el desarrollo urbano en zonas costeras deberá adjuntar un análisis de riesgo basado en la normativa de uso del suelo y ordenamiento territorial; por otra parte, el artículo 781 prioriza la adaptación de proyectos, políticas y programas que permitan la prevención de degradación de suelos y deforestación, subsistencia de la biodiversidad, mitigación del cambio climático, desarrollo urbano sostenible, entre otros; finalmente, el artículo 787 señala que la Autoridad Ambiental Nacional no otorgara incentivos a actividades como cambio y uso de suelo, deforestación, degradación y extracción no sostenible de recursos (Ministerio del Ambiente, 2019, p.5).

1.3.3. Acuerdo ministerial 097-A norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados

Este acuerdo está vigente y acata todas las disposiciones emitidas por el COA con el objetivo principal de preservar la salud de las personas y velar por la calidad ambiental y del recurso suelo con el fin de salvaguardar las funciones naturales de los ecosistemas (Ministerio del Ambiente, 2015, p.14).

“La norma se aplica para los siguientes usos del suelo: agrícola, pecuario, forestal, urbano, minero, recreativo, de conservación, industrial y comercial. Para la prevención y control de la contaminación del suelo, se establecen los siguientes criterios: a) prevenir y reducir la generación de residuos sólidos municipales, industriales, comerciales y de servicios, incorporando técnicas apropiadas y procedimientos para su minimización, reusó y reciclaje; b) utilizar sistemas de agricultura que no degraden, contaminen o desequilibren el ecosistema del área geográfica en que se desenvuelven, lo cual incluye el uso racional y técnico de plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas; c) llevar a cabo las acciones necesarias para recuperar y restaurar aquellos suelos que presenten contaminación, restableciendo las condiciones iniciales existentes anteriormente a la ejecución de un determinado proyecto, obra o actividad” (Ministerio del Ambiente, 2015, p.15).

Tabla 2-1: Criterios de calidad del suelo

Parámetros generales	Unidades (Concentración en peso seco)	Suelo
Conductividad	dS/m	2
pH	-	6-8
Arsénico (inorgánico)	mg/kg	12
Bario	mg/kg	200
Boro (soluble)	mg/kg	1
Cadmio	mg/kg	0.5
Cobre	mg/kg	25
Cobalto	mg/kg	10
Cromo Total	mg/kg	54
Cromo VI	mg/kg	0.4

Cianuro	mg/kg	0.9
Estaño	mg/kg	5
Mercurio	mg/kg	0.1
Molibdeno	mg/kg	5
Níquel	mg/kg	19
Plomo	mg/kg	19
Selenio	mg/kg	1
Vanadio	mg/kg	76
Zinc	mg/kg	60

Fuente: (Núñez, 2015, p.12).

Realizado por: Erazo, E.; Morales, V. 2020

1.3.4. Agencia de Protección Ambiental

Un propietario posee obligaciones continuas de responsabilidad, las cuales incluyen el cumplimiento de aquellas limitaciones de uso de suelo, así como el no obstruir el acceso a aquellos controles institucionales que ejecuten acciones de restauración del recurso natural; si un propietario realiza investigaciones de suelo en su propiedad provocando la dispersión de contaminantes por dicha actividad, la EPA no puede descalificar por esta acción al propietario siempre y cuando continúe ejecutando una liberación razonable de estos contaminantes (United States Environmental Protection Agency, 2019, p.11).

Antes de realizar actividades de construcción, excavación o cualquier otro tipo de acción que altere las características del suelo, es necesario contar con un permiso emitido por las autoridades pertinentes como la EPA o el programa estatal si este lidera la limpieza (United States Environmental Protection Agency, 2019, p.27). Asimismo, durante una acción correctiva se deberá colocar cercas de seguridad e instalar letreros que informen que el ingreso se encuentra prohibido y que existen suelos contaminados con sustancias peligrosas dentro del área cercada; además de otras medidas que impidan la exposición pública a suelos contaminados (United States Environmental Protection Agency, 2019, p.28).

En el caso de que se requiera utilizar suelos no remediados para llevar a cabo actividades, será necesario que se disponga los suelos adecuadamente a fin de evitar la exposición de humanos y recursos naturales (United States Environmental Protection Agency, 2019, p.29). Por otro lado, al encontrar un suelo contaminado tras realizar actividades como excavaciones para cimientos o al instalar tuberías y líneas subterráneas, será necesario caracterizar cualquier contaminación del suelo para

establecer métodos de un adecuado manejo y eliminación conforme a lo establecido por leyes y regulaciones federales y estatales (United States Environmental Protection Agency, 2019, p.30). De igual modo se deberá abstener de perturbar el suelo sin consultar previamente con el administrador del proyecto de recuperación de la EPA (United States Environmental Protection Agency, 2019, p.31).

La evaluación de riesgos ecológicos permite generar una predicción de los efectos adversos de químicos en el suelo al comparar los niveles de detección de suelos, plantas o animales, es decir las concentraciones de contaminantes en el suelo con el nivel de detección ecológica de suelos (Environmental Protection Agency, 2008, p. 9-13). Para establecer dichas evaluaciones la EPA no recomienda el uso de microorganismos; por otra parte, los datos obtenidos en pruebas desarrolladas sobre temas de prevención, sustancias peligrosas o pesticidas deben ser presentados bajo regulaciones federales (Environmental Protection Agency, 2008, pp. 22-92).

La EPA considera que metales como zinc, antimonio, talio, arsénico, selenio, berilio plomo, cadmio, plata, cromo, níquel, cobre y mercurio son contaminantes prioritarios (Environmental Protection Agency, 2008, p. 16).

La distribución logarítmica de concentraciones de metales detectados en suelos se establece mediante estudios exhaustivos que poseen un tratamiento estadístico, para ello la EPA a través de la tabla 3-1, muestra las medias geométricas y aritméticas de las concentraciones promedio de ciertos metales en suelos pertenecientes a estados unidos.

Tabla 3-1: Concentraciones medias de metales seleccionados en suelos superficiales (mg/kg)

Región	Promedio	Cd	Pb	As	Cr	Hg	Ni	V	Cu	Zn
USA	Geométrico	0.18	11	--	--	--	17	--	18	43
	Aritmético	0.27	12	--	--	--	24	--	30	57
	Media	0.20	11	--	--	--	18	--	19	53
USA	Geométrico	--	16	5.2	37	0.058	13	58	17	48
	Aritmético	--	19	7.2	54	0.09	19	80	25	60
USA	“Típico”	0.35	50	--	--	--	30	--	50	15
Minnesota	Aritmético	0.39	--	--	39	--	18	--	23	60
Florida	Geométrico	0.21	4.1	1.1	3.9	0.0042	6.5	--	3.7	12
	Aritmético	0.22	5.4	2.4	5.1	0.0067	6.7	--	4.7	12
Ohio	Aritmético	0.2	19	--	12	--	18	--	19	75

Fuente: (Environmental Protection Agency, 1999, p. 116).

Realizado por: Erazo, E.; Morales, V. 2020

1.3.5. Real decreto 9/2005

El real decreto 9/2005 indica en el artículo 2 que se considera como suelo contaminado a aquel que presenta una alteración negativa de sus propiedades debido a la existencia de concentraciones químicas peligrosas que representan un riesgo para el ambiente o la salud de los seres humanos (Ministerio de la Presidencia, 2005, p.5).

El artículo 3 a través del numeral 3 señala que los propietarios de suelos deberán emitir a la comunidad autónoma correspondiente, informes de análisis que posibiliten determinar el nivel de contaminación del suelo; asimismo, el numeral 4 menciona que es de estricta obligación presentar a la comunidad autónoma informes de la situación actual por parte de los encargados de actividades que generen contaminación de suelos; igualmente el numeral 5 indica que se deberán presentar un informe de situación aquellos propietarios que anteriormente hayan generado una actividad contaminante y que desean una autorización para un cambio de actividad o uso de suelo (Ministerio de la Presidencia, 2005, pp.5-6).

El artículo 4 por medio del numeral 1 informa que la comunidad autónoma proclamará a un suelo como contaminado considerando la protección hacia la salud humana o del medio ambiente; de la misma forma, el numeral 2 establece que la comunidad autónoma será la encargada de determinar el conjunto de organismos que deben ser protegidos según la delimitación de suelos (Ministerio de la Presidencia, 2005, p.6).

El artículo 6 a través del numeral 2 recalca que la comunidad autónoma establecerá los niveles de referencia considerando el uso actual y futuro del suelo; del mismo modo, el numeral 3 menciona que la comunidad autónoma decidirá las sustancias en las cuales deben basarse los análisis químicos de suelos considerando las acciones que pudieron contaminar este (Ministerio de la Presidencia, 2005, pp.6-7).

El artículo 7 por medio del numeral 1 indica que en un suelo contaminado se ejecutaran acciones que permitan su recuperación en términos y tiempo determinados; así pues el numeral 2 informa que la recuperación del suelo será en base al tipo de uso; asimismo el numeral 3 señala que se debe generar en lo posible un tratamiento in situ del suelo que abarque las mejores técnicas disponibles y que garantice una solución permanente del mismo; además el numeral 4 prioriza la disminución de contaminantes del suelo y en el caso de que esta disminución no sea posible, se aceptaran acuerdos de reducción a la exposición que incluyan el confinamientos de suelos contaminados; semejante ocurre con el numeral 5 donde un suelo podrá ser declarado como libre de contaminación cuando la resolución administrativa así lo declare y deje de ser un riesgo para los ecosistemas y la salud de los seres humanos (Ministerio de la Presidencia, 2005, p.7).

El artículo 8 establece que las fincas donde exista suelo contaminado registraran una nota marginal en virtud de una certificación administrativa, la cual deberá ser presentada en el registro de la propiedad, donde constara la legislación aplicable e hipotecaria relacionadas con las personas y fincas que afecte esta certificación (Ministerio de la Presidencia, 2005, pp.7-8).

Finalmente, el artículo 9 informa que quedan excluidos de este decreto los suelos donde se desarrollen actividades militares; asimismo por medio de la disposición final segunda, se autoriza al ministro de medio ambiente y sanidad a modificar mediante su conocimiento científico los anexos de este real decreto (Ministerio de la Presidencia, 2005, p.8).

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Revisión ambiental inicial

2.1.1. *Identificación de los puntos de control ambiental*

La identificación de los puntos de control ambiental es de vital importancia para ubicar puntualmente los lugares en los cuales los aspectos ambientales tuvieron relación cercana con el medio ambiente, esto permite la evaluación y caracterización de las afectaciones ocurridas. Esta información justifica el levantamiento de la línea base (Culqui, 2015, p.143). Este apartado se realizó por medio de la revisión bibliográfica, la observación directa y el dialogo con habitantes de las zonas aledañas al volcán Tungurahua (Instituto Geofísico, 2017, p.7).

2.1.2. *Descripción del ambiente abiótico, biótico y socioeconómico*

2.1.2.1. *Descripción del ambiente abiótico*

Para determinar la calidad de cualquier recurso (agua, aire o suelo) se realizó una serie de análisis y se los comparo con la normativa vigente nacional e internacional. La calidad de estos recursos depende de las actividades que se generen en la zona de afectación. Se habla de una buena calidad del recurso cuando los parámetros analizados se hallan dentro de los límites permisibles que establece la legislación, y de una mala calidad cuando estos se localizan fuera de dichos límites, lo cual conlleva a un daño observable en el ambiente y por ende en los recursos naturales.

2.1.2.2. Descripción del ambiente biótico

Para determinar la flora y fauna que se ha adaptado dentro del área de influencia directa del volcán Tungurahua, se realizó una revisión de información bibliográfica relevante de investigaciones y estudios desarrollados previamente sobre la diversidad biológica existente en los cantones Santiago de Quero, San Pedro de Pelileo y Penipe, entre estos documentos se encuentran los “Planes de desarrollo y ordenamiento territorial de cada cantón”, la “Memoria técnica de cobertura y uso de la tierra del cantón Quero”, el “Plan de ordenamiento territorial versión resumen del cantón Pelileo”, “Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia Bilbao” y el “Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia Puela”.

Fue necesario considerar la relevancia de la información obtenida con las condiciones actuales que presenta cada una de las zonas de estudio, a través de la identificación y clasificación se procedió con la inserción de la información dentro de una tabla en la cual se proporciona la clase, familia, especie y los nombres comunes de la flora y fauna local que existe en cada cantón.

2.1.2.3. Descripción del medio socio-económico

El medio socioeconómico es una parte esencial dentro del desarrollo de un proyecto, pues permite establecer la dinámica social y económica normal que posee la ciudadanía en general. Es por ello que tomando en consideración la extensión que abarca el área de influencia directa, la descripción socioeconómica se enmarca dentro de un contexto a nivel cantonal agrupando a los cantones Quero, Cevallos, Pelileo y Penipe; con ello se logra una visión en general de cada uno de los elementos examinados, los cuales facilitan el análisis de las características propias que posee cada cantón.

La técnica empleada para la recopilación de los antecedentes demográficos, económicos y del medio social se basa principalmente en la compilación y análisis de datos secundarios obtenidos a través de los planes de desarrollo y ordenamiento territorial actualizados de los cantones Santiago de Quero, Cevallos, San Pedro de Pelileo y Penipe, dentro de los cuales se halla seleccionada información proveniente del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), en base al censo de población y vivienda llevado a cabo en el año 2010.

2.1.3. Determinación del área de influencia

2.1.3.1. Área de influencia directa

La determinación del área de influencia directa se realizó considerando los puntos donde el impacto ambiental se evidencia directamente y a su vez ha causado un efecto adverso o beneficioso en la zona, para ello primero se identificó las actividades, aspectos e impactos generados por la actividad volcánica, delimitando así el área donde dicha actividad tuvo mayor influencia (Culqui, 2015, p.134).

2.1.3.2. Área de influencia indirecta

El área de influencia indirecta es el espacio alrededor del área de influencia directa, la zona de influencia indirecta también es conocida como zona de amortiguamiento y va en dependencia del impacto causado, para así definir un radio de acción. En estas áreas existe afectación menor o no significativa (Culqui, 2015, p.135).

2.1.4. Identificación de aspectos y evaluación de impactos ambientales

2.1.4.1. Identificación de aspectos ambientales

La identificación de los aspectos e impactos ambientales se realizó por medio de una matriz. En esta matriz se procedió a identificar las interacciones dadas entre el ambiente y la actividad volcánica, a fin de conocer los aspectos ambientales y los posibles impactos generados como resultado de esta interacción. Se la denominada “Matriz Causa-Efecto”, y tiene como fin la identificación de las actividades, los aspectos y los impactos de cada sector previamente definido. Esta matriz es utilizada para analizar, definir y conocer los principales problemas ambientales y su efecto, sea positivo o negativo, ayudando así a detectar los elementos causantes del problema y una posible solución al mismo (Culqui, 2015, p.144).

2.2. Levantamiento de la información mediante encuestas

2.2.1. Metodología de encuestas

La recopilación de información para el presente estudio se realizó mediante la implementación de encuestas dirigidas a habitantes de los cantones Quero, Pelileo y Penipe, pertenecientes a las provincias de Tungurahua y Chimborazo respectivamente; para ello se seleccionó tres sectores en los cuales se aplicó la encuesta gracias a la apertura de los pobladores de los cantones mencionados, Yanayacu-Quero, Cotaló-Pelileo y Pungal-Penipe. Las encuestas se ejecutaron durante las reuniones mensuales que mantenía el cabildo en cada sector, de esta manera se recopilaron 176 encuestas, de las cuales, 60 se realizaron en Yanayacu, 81 en Cotaló y 35 en Pungal.

La encuesta se construyó en base a un cuestionario de quince preguntas de respuesta cerrada y semiabierta. Diez preguntas cerradas con dos o más alternativas de selección y, cinco preguntas semiabiertas que permitían al entrevistado escribir otra respuesta en el caso de que no haya estado contemplada dentro de las opciones propuestas. Las preguntas se clasificaron en dos secciones, la primera abarco datos personales de la muestra tomada, tales como edad, género, y ocupación; mientras que el segundo bloque o sección, contemplo preguntas relacionadas con el enfoque de la investigación, específicamente con la actividad del volcán Tungurahua, y de manera particular con la caída de ceniza y la incidencia de los materiales volcánicos sobre el grado de afectación que han generado sobre los habitantes de estos sectores investigados.



Figura 1-2. Entrevista a moradores aledaños al volcán Tungurahua

Realizado por: Erazo, E.; Morales, V. 2020

2.2.2. Análisis y organización de datos

Se estableció como universo al conjunto de respuestas obtenidas a partir de las encuestas y como unidad de análisis a cada contestación dada a un ítem específico de cada pregunta planteada. Posteriormente se efectuó una lectura rápida de todas las respuestas obtenidas a fin de obtener un conocimiento general sobre los datos recolectados. A continuación, se realizó un análisis comparativo sistemático que posibilitó clasificar cada respuesta ante una pregunta cerrada y contemplar las principales tendencias que crearon las preguntas semiabiertas, para así delimitar cada información obtenida. Finalmente se organizaron y agruparon los datos cuantitativos en frecuencias y porcentajes ejemplificados en gráficas que permitieron sintetizar y analizar la información obtenida para así generar las respectivas conclusiones ante cada pregunta planteada.

2.3. Matriz de Leopold

Para identificar y ponderar los impactos ambientales que se desarrollan en los cantones Santiago de Quero, San Pedro de Pelileo y Penipe; se realizó un diagnóstico donde se determinaron las actividades y factores ambientales que se hallan relacionados con cada uno de los tres cantones.

Se procedió a realizar una matriz de causa-efecto, que permitió calificar de manera cualitativa cada una de las interacciones que se generan entre los componentes ambientales ubicados en las filas y las acciones situadas en las columnas de dicha matriz.

Posteriormente, para evaluar de forma cuantitativa los impactos de los cantones se desarrolló una matriz de Leopold, en donde se calculó la magnitud de cada uno de los impactos considerando las variables de intensidad, extensión y duración; así como también el valor de la importancia de acuerdo a la reversibilidad y riesgo, conforme a los criterios de la tabla 3-2:

Tabla 4-2: Calificación de impactos ambientales

Variable	Símbolo	Carácter	Valor
Intensidad	I	Alto	3
		Moderado	2
		Bajo	1
Extensión	E	Regional	3
		Local	2
		Puntual	1
Duración	D	Permanente	3
		Temporal	2
		Periódico	1
Reversibilidad	R	Irreversible	3
		Recuperable	2
		Reversible	1
Riesgo	Ri	Alto	3
		Medio	2
		Bajo	1

Fuente: (Culqui, 2015, p.145)

Realizado por: Erazo, E.; Morales, V. 2020

Cada celda de interacción permitió evaluar el grado total de afectación sobre el componente ambiental, es decir, el criterio de severidad. Las celdas vacías muestran que no existe interacción entre los factores ambientales y las actividades desarrolladas en los cantones. En la columna de la derecha consta el resultado total de la evaluación ambiental conforme a su severidad, pues si se halla dentro del criterio severo o crítico pertenece a un impacto significativo, mientras que, si el criterio es bajo o medio corresponde a un impacto no significativo, acorde a la tabla 4-2:

Tabla 5-2: Rangos de severidad

Criterio	Calificación
Compatible	9-19
Moderado	20-35
Severo	36-55
Crítico	>56

Fuente: (Culqui, 2015, p.144)

Realizado por: Erazo, E.; Morales, V. 2020

2.4. Diseño experimental de muestreo

Se tomaron muestras de suelo cultivado (agrícola) y muestras de suelo no cultivado, en 10 localidades de estudio, estas áreas se consideraron, áreas de influencia directa del volcán Tungurahua en las provincias de Tungurahua y Chimborazo, según lo establecido por el Instituto Geofísico Nacional en su publicación “Reporte de erupción, volcán Tungurahua, 2016-01” publicada en el 2017, las muestras de suelo se analizaron mediante el método de investigación mixta, ya que los resultados obtenidos son cualitativos y cuantitativos, las variables desarrolladas fueron: pH, conductividad eléctrica, contenido de materia orgánica, textura, densidad y metales pesados (Cr, Ni, Cd y Pb); así como también, el levantamiento de la revisión ambiental inicial, encuestas poblacionales y la matriz de Leopold; análisis que permitieron desarrollar un diseño experimental completamente al azar; con el fin de conocer los impactos ambientales generados por el volcán Tungurahua (Instituto Geofísico, 2017, p.5).

2.4.1. Localización del estudio

Para localizar los puntos de muestreo se recolectó información bibliográfica sobre los principales lugares aledaños al volcán Tungurahua afectados por la caída de ceniza. Con la información recopilada se seleccionaron 10 puntos principales y representativos para el presente estudio, entre las provincias de Tungurahua y Chimborazo, en los cuales se tomó muestras de suelo al azar de manera aleatoria y por conglomerados tanto de suelo cultivado, así como también de suelo sin cultivar (Instituto Geofísico, 2017, p.4).



Figura 2-2. Volcán Tungurahua

Realizado por: Erazo, E.; Morales, V. 2020

En la provincia de Tungurahua se tomó puntos de control en los cantones de Quero en los sectores de Yanayacu y El Empalme y en el cantón Pelileo de los sectores de Benítez, Quichibana Alto, Cotaló, Tungurahuilla y Chacaucu; mientras que de la provincia de Chimborazo se tomó del cantón Penipe las localidades de Pungal, Ganzi y Guso (Instituto Geofísico, 2017, p.12).



Figura 3-2. Determinación de puntos de muestreo del sector Quero-Yanayacu

Realizado por: Erazo, E.; Morales, V. 2020

Los análisis de las muestras se realizaron en los laboratorios de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ubicada en el cantón Riobamba, panamericana sur kilómetro 1 ½, provincia de Chimborazo.

2.4.2. Método de Muestreo

El método de muestreo empleado fue el probabilístico también denominado muestreo por conglomerados o áreas, en este se establecieron áreas geográficas determinadas en cada unidad experimental y de estas se seleccionaron al azar los puntos que sirvieron para el muestreo, previos criterios antes mencionados. Una vez establecidos los puntos a muestrear se realizó un muestreo sistemático para cada punto, esta metodología garantiza la total cobertura del punto a muestrear, para esto primero se definió el área del terreno con una piola formando un cuadrante, esta área determinada debe tomarse como referencia en todos los puntos a muestrear, en cada esquina del terreno se colocaron estacas, una vez establecido este cuadrante se procedió a tomar una muestra compuesta de suelo de todo el terreno (Gupta, Yaduvanshi y Gupta, 2012, p.20).



Figura 4-2. Determinación del área de muestreo

Realizado por: Erazo, E.; Morales, V. 2020

En una esquina del terreno se introdujo el barreno a una profundidad de 40 a 50 cm y se procedió a recolectar una submuestra (aproximadamente 100g de suelo), la cual se colocó dentro de una funda ziploc. Posteriormente en forma diagonal al primer punto se estableció el segundo punto de muestreo situado a una distancia aproximada de 10m, a partir del cual se recogió una submuestra, dicho procedimiento se repitió varias veces hasta cubrir la superficie total del terreno. Con el fin de minimizar errores durante el análisis de cada suelo a nivel de laboratorio, se recolectaron las muestras por triplicado en fundas ziploc hasta que estas alcanzaran un peso de 2kg cada una. Las fundas fueron etiquetadas de manera individual con un código de identificación referente al punto muestreado.



Figura 5-2. Muestras compuestas de suelo tomadas por triplicado

Realizado por: Erazo, E.; Morales, V. 2020

Posteriormente, con la ayuda de un termohigrómetro digital portátil se midió la temperatura y humedad relativa de cada zona muestreada, y con la implementación de un GPS se determinaron coordenadas de altitud y latitud respectivamente; los valores obtenidos fueron registrados detalladamente en una ficha de muestreo, la cual recogió información levantada en campo, condiciones del punto de muestreo y una descripción de las muestras tomadas. Los equipos mencionados fueron colocados en un punto fijo del terreno sobre una estaca de 1m, la cual sirvió como soporte y estabilidad de los dispositivos a fin de generar el menor número de interferencias posibles y datos erróneos.



Figura 6-2. Identificación de coordenadas de altitud, latitud y altura

Realizado por: Erazo, E.; Morales, V. 2020

Las muestras recolectadas fueron secadas a temperatura ambiente, para asegurar un secado uniforme cada 24 horas se realizaba un volteo además de tomar lectura del peso a las muestras con el fin de llegar a un peso constante (considerándose totalmente secas). Una vez secas las muestras fueron tamizadas a 2mm (luz de malla), como preparación previa para el análisis.



Figura 7-2. Muestras de suelo cultivable y no cultivable secadas a temperatura ambiente

Realizado por: Erazo, E.; Morales, V. 2020

2.5. Determinación de pH, conductividad eléctrica (CE), porcentaje de materia orgánica (%MO), textura y densidad

2.5.1. Determinación de pH

Para la determinación de pH se procedió a prender el pH-metro media hora antes de la medición, con el fin de tener el equipo calibrado (esta calibración se realizó con soluciones buffer de pH=7, pH=4 y pH=10) y estable, evitando así errores en la lectura, luego de esto se pesó 20 g de suelo en vasos plásticos, agregando 50 ml de agua destilada con una probeta de la misma medida. Se mezcló con una varilla de agitación aproximadamente por 2 minutos, posterior a esto se dejó reposar durante 30 minutos y finalmente pasados los 30 minutos se procedió a medir el pH en el equipo y se anotó el resultado (Gupta, Yaduvanshi y Gupta, 2012, pp,29-32).

2.5.2. Determinación de conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica se determinó en un conductímetro previamente calibrado con una solución estándar de KCl 0.01 N. Esta medición se realizó pesando 80 g de suelo previamente

tamizado a luz de malla de 2 mm, luego se añadió 60 ml de agua destilada medida en una probeta, se mezcló la solución durante 5 minutos, se dejó reposar por media hora ya transcurrido este tiempo se volvió a remover durante 10 minutos más, por último, se midió la CE y se anotó el resultado para su posterior análisis (Gupta, Yaduvanshi y Gupta, 2012, pp.26-29).. El valor emitido por el equipo se expresa en mmhos /cm por defecto.



Figura 8-2. Determinación de pH y conductividad eléctrica de muestras de suelo

Realizado por: Erazo, E.; Morales, V. 2020

2.5.3. Determinación de materia orgánica

La determinación de materia orgánica (MO) se realizó mediante la diferencia de pesos por el método de calcinación, para esto se pesó el crisol limpio y seco (después de tararlo), se lo identificó como peso 1 (P1), a continuación se agregó 5 g de suelo seco en el crisol, se introdujo el crisol más la muestra en la estufa a 105°C durante 24 horas, pasado este tiempo se retiró de la estufa pasándolo directamente al desecador durante 30 minutos, luego con la ayuda de una balanza se obtuvo el peso 2 (P2), seguidamente se colocó el crisol en la mufla a 450 °C durante 30 minutos, se pasó nuevamente al desecador durante 30 minutos para luego pesar el crisol con la muestra y obtener el peso 3 (P3) (Gupta, Yaduvanshi y Gupta, 2012, pp.35-38).



Figura 9-2. Determinación de materia orgánica

Realizado por: Erazo, E.; Morales, V. 2020

Una vez obtenidos todos estos pesos aplicamos la siguiente fórmula, obteniendo la cantidad de materia orgánica contenida en la muestra.

$$\%MO = \frac{P3 - P2}{P3} * 100$$

2.5.4. Determinación de textura

Se pesó 100 gramos de suelo seco al aire y previamente tamizado en una malla de 2mm, posteriormente se agregó 10ml del agente dispersante, para ello se diluyó 20 gramos de carbonato de sodio en polvo con 75 gramos hexametáfosfato de sodio en 1.62 litros de agua destilada. Seguidamente se adicionó 200 ml de agua destilada a la muestra anteriormente pesada, se mezcló por un lapso de un minuto y se dejó en reposo por 24 horas. A continuación, se trasvasó la suspensión a una probeta graduada de 1000ml procurando lavar la superficie del frasco con chorros de agua destilada a fin de que no queden retenidas partículas de suelo al momento del trasvase, luego se completó un volumen de 1000ml con el hidrómetro sumergido y se agitó vigorosamente la suspensión contenida en la probeta, tapando con la palma de la mano por espacio de un minuto. Entre tanto se colocó sobre una superficie rígida la probeta con el hidrómetro sumergido para efectuar la primera lectura a los 40 segundos. Mas tarde se tomó la segunda lectura con el hidrómetro sumergido pasado un transcurso de tiempo de dos horas por 40 segundos (Gupta,

Yaduvanshi y Gupta, 2012, pp.42-48). Finalmente se encontró la textura de suelo aplicando las siguientes formulas:

$$\% \text{ de Arena} = 100 - \frac{\text{Primera lectura}}{\text{g de la lectura}} * 100$$

$$\% \text{ de Arcilla} = \frac{\text{Segunda lectura}}{\text{g de la lectura}} * 100$$

$$\% \text{ de Limo} = 100 - (\% \text{ de arena} + \% \text{ de limo})$$



Figura 10-2. Determinación de textura de suelos

Realizado por: Erazo, E.; Morales, V. 2020

2.5.5. *Determinación de Densidad*

Para determinar el tipo de densidad se pesó el picnómetro (capacidad de 50 ml) vacío, previamente tarado y etiquetado (anotamos este valor) peso 1 (P1), luego se aforo el picnómetro con agua destilada obteniendo el peso 2 (P2), seguidamente se retiró el agua del picnómetro dejando un tercio de su volumen para poder agregar 5 g de suelo, posterior a esto se aforo el picnómetro con agua destilada y se dejó reposar durante 30 minutos, pasado este tiempo se volvió a pesar el picnómetro cuidando de que no exista burbujas de aire que puedan afectar la medición obteniendo así el peso 3 (P3) (Gupta, Yaduvanshi y Gupta, 2012, pp.52-57).



Figura 11-2. Determinación de densidad

Realizado por: Erazo, E.; Morales, V. 2020

Obtenidos estos pesos calculamos la densidad del suelo usando la siguiente formula:

$$d = \frac{\text{masa} = P2 - (P3 - P1)}{\text{Volumen del picnometro} = 50\text{ml}}$$

2.5.6. Determinación de metales pesados Cromo (Cr), Níquel (Ni), Cadmio (Cd) y Plomo (Pb) por absorción atómica

2.5.6.1. Determinación de digestión ácida asista por microondas

Se peso dentro de un tubo de politetrafluoroetileno de tapa rosca 0.50 gramos de suelo seco al aire y previamente tamizado en una malla de 2mm. Seguidamente se añadió 10 ml de HNO₃ concentrado al 65%, se agitó suavemente la mezcla y se esperó aproximadamente 15 minutos antes de cerrar el recipiente. Luego se limpió la superficie externa del tubo de digestión y se lo cerro herméticamente con la ayuda de una carraca. Posteriormente se colocaron los tubos dentro del carrusel y este en el microondas procurando que las bases de ambos objetos encajen adecuadamente, a continuación, se programó el sistema de calentamiento del microondas considerando un suelo arenoso:

- Temperatura: 200 grados centígrados
- Rampa: 20 minutos

- Estabilidad: 20 minutos
- Presión: 800 PSI
- Potencia: 950W



Figura 12-2. Digestión ácida de muestras de suelo asistidas por microondas

Realizado por: Erazo, E.; Morales, V. 2020

Se destaparon los tubos de digestión dentro de una campana extractora de gases y se enraso el contenido de la mezcla en un balón volumétrico de 50 ml con agua destilada. Después se mezcló la muestra contenida en el balón volumétrico y se filtró dentro de un tubo falcón con la ayuda de papel filtro y un embudo. Finalmente se guardó la muestra digerida en un frigorífico hasta realizar los análisis por espectroscopía de absorción atómica de llama.



Figura 13-2. Muestras de suelo cultivable y no cultivable digeridas con ácido nítrico

Realizado por: Erazo, E.; Morales, V. 2020

2.5.6.2. Determinación de espectroscopía de absorción atómica con atomización por llama

Se prendió el equipo de absorción atómica seguido del ordenador conectado a dicho equipo, después se colocaron cada una de las muestras en tubos de 10 ml y la solución patrón dentro de las gradillas contenidas en el equipo, a continuación, se creó una nueva hoja de trabajo en el ordenador introduciendo en las filas el número total de muestras a analizar incluyendo blancos y patrones. Se procedió a seleccionar la opción añadir métodos del ordenador para luego elegir los metales a ser examinados seguido del tipo de método, en este caso de llama. Se colocaron las lámparas de cátodo hueco de Cr, Ni, Cd y Pb dentro del carrusel portalámparas del equipo.

Posteriormente, se alineó el mechero del equipo con una tarjeta que poseía referencias ópticas, para ello se colocó la tarjeta en la zona más cercana a la lámpara y se comprobó que el haz de luz incida sobre la señal impresa de la tarjeta, en el caso de que no hubiese incidido, se debía modificar la posición del mechero hasta que el haz de luz pueda coincidir. Seguidamente, se abrió la válvula de gases aire-acetileno, los cuales tenían una presión de 0.75 y 4 bar respectivamente que dio paso al encendido de la llama. Después se optimizó las lámparas mediante el ajuste de los tornillos situados detrás de su soporte, las ganancias óptimas fueron aquellas que se encontraban alrededor del 40% al 60%, una vez que se alcanzó este porcentaje se procedió a arrancar las bombas. Ese proceso fue necesario repetirlo para cada una de las lámparas.

La secuencia del análisis comenzó con una calibración, en el caso de que esta hubiese sido errónea se debía repetir nuevamente la calibración o a su vez detener el equipo y eliminar los puntos erróneos de la recta de calibrado. Una vez que se alcanzó la calibración correcta para cada metal, el equipo comenzó con el análisis de las muestras dirigiendo el brazo muestreador hacia el blanco de agua destilada, seguido de la solución patrón y de un nuevo blanco, para después dar inicio a la secuencia de los análisis de cada una de las muestras de suelo previamente digeridas. En el caso de que se hubiese requerido repetir el análisis de alguna de las muestras, se debió pausar el proceso y seleccionar con el rotulador del ordenador la muestra a repetir para que el equipo al final de análisis proceda a medir nuevamente la muestra seleccionada.

La solución patrón dependió del elemento a medir y de las concentraciones que se esperaron encontrar en las muestras, los estándares fueron cinco incluidos con el blanco que tuvo concentraciones de 2 ppm de Cr, 2 ppm de Ni, 1 ppm de Cd y 1 ppm de Pb.



Figura 14-2. Determinación de metales pesados por espectroscopia de absorción atómica

Realizado por: Erazo, E.; Morales, V. 2020

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1. Revisión Ambiental Inicial

3.1.1. *Identificación de los puntos de control ambiental*

El volcán Tungurahua tras su proceso eruptivo ha ocasionado alerta en varias poblaciones aledañas denominadas áreas de influencia directa. Los tres cantones aledaños más afectados fueron: dos de la provincia de Tungurahua, Pelileo y Quero, y uno de la provincia de Chimborazo, Penipe, cuyas características climáticas se asemejan entre sí y con el majestuoso volcán (Romero et al. 2017, p.701). Dicha sectorización fue tomada geográficamente buscando los puntos equidistantes entre sector, ayudados por un GPS de precisión.

Se tomaron 10 puntos para el presente proyectos es así que en la provincia de Tungurahua se tomó puntos de control en los cantones de Quero en los sectores de Yanayacu y El Empalme, en el cantón Pelileo los sectores de Benítez, Quichibana Alto, Cotaló, Tungurahuilla y Chacauco; mientras que de la provincia de Chimborazo se tomó las muestras en el cantón Penipe sectores de Pungal, Ganzi y Guso. La ubicación de los puntos de control ambiental se proyectó en el programa ArcGIS y se muestran a continuación en los siguientes gráficos.

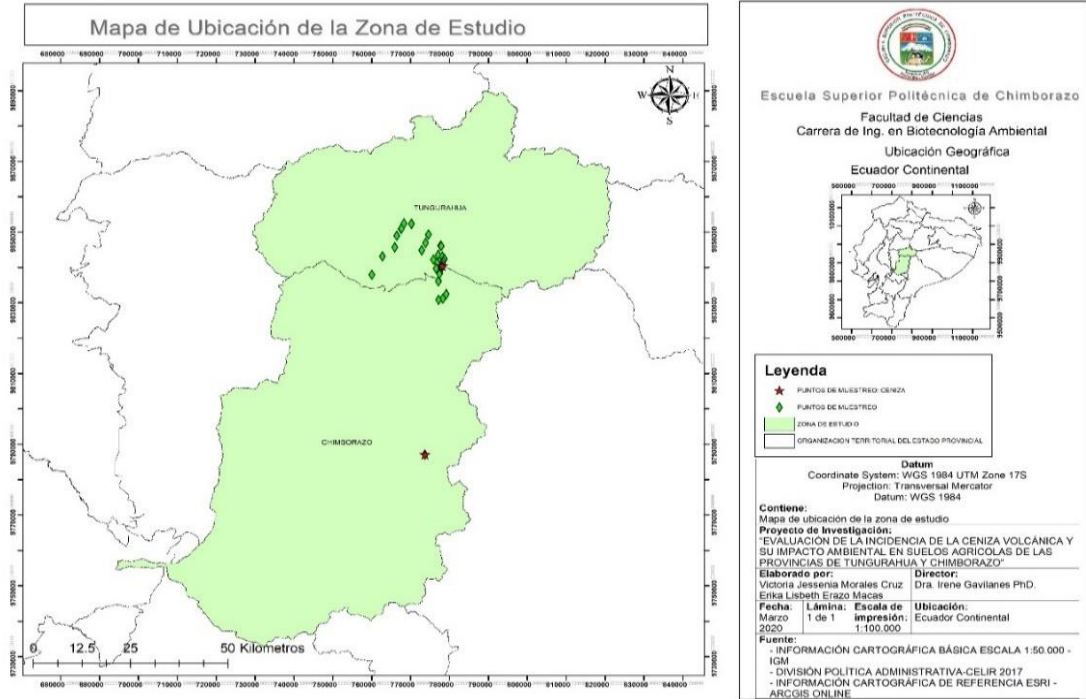


Figura 15-3. Mapa de ubicación de la zona de estudio

Realizado por: Erazo, E.; Morales, V. 2020

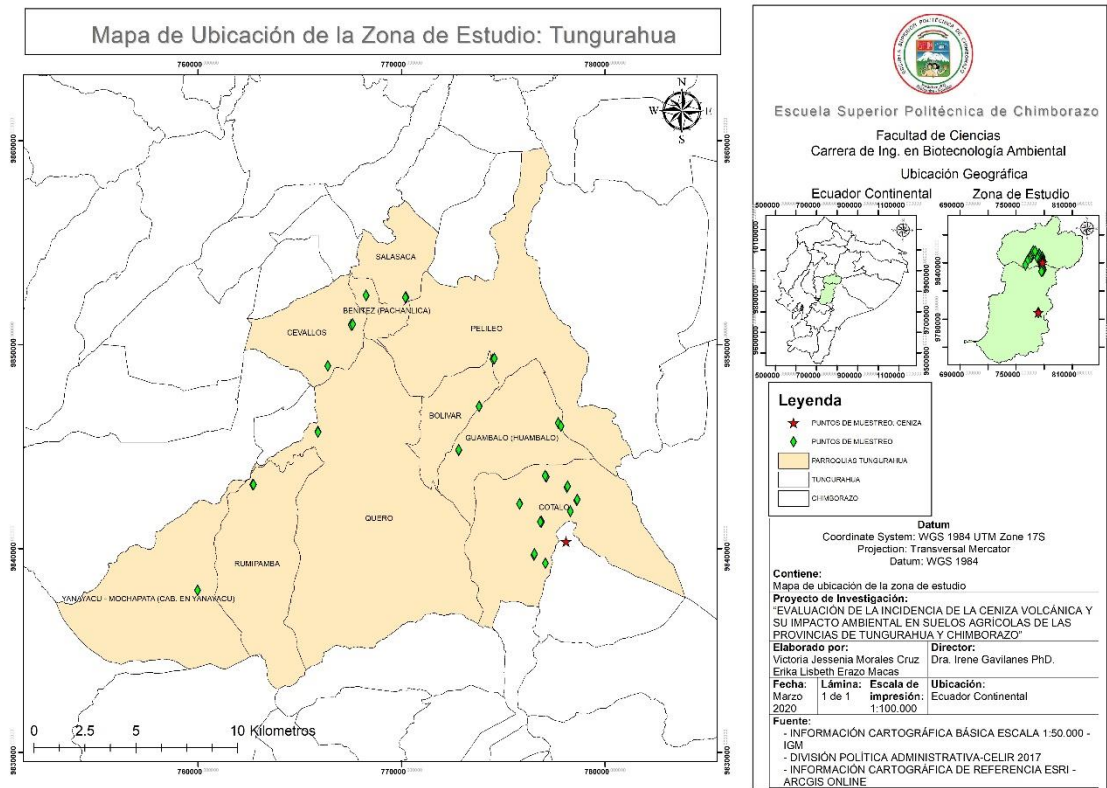


Figura 16-3. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo de la provincia de Tungurahua

Realizado por: Erazo, E.; Morales, V. 2020

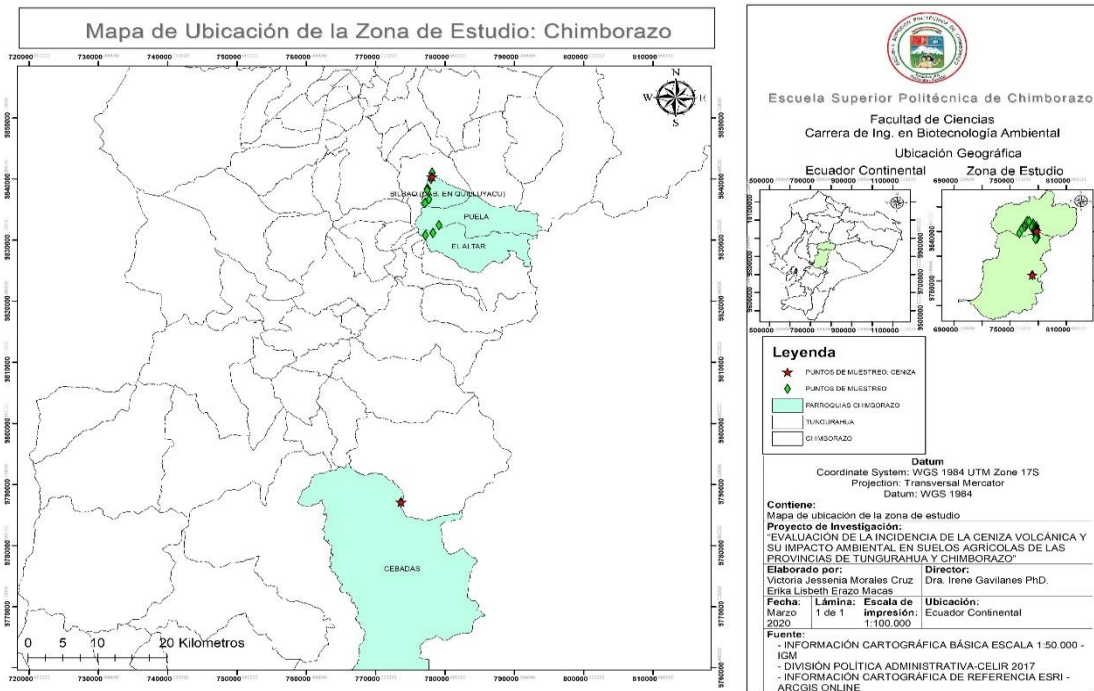


Figura 17-3. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo de la provincia de Chimborazo

Realizado por: Erazo, E.; Morales, V. 2020

3.1.2. Descripción del ambiente abiótico

3.1.2.1. Calidad del agua de los cantones de Pelileo, Quero y Penipe

La calidad de agua de los cantones estudiados varía y va en dependencia de muchos factores tanto climáticos como ambientales del entorno, así tenemos que:

Cantón Pelileo: el agua proviene de las vertientes de Teligote, Jun Jun, La Moya, Valle hermoso y San Idelfonso, cada una de las parroquias del cantón poseen una planta de tratamiento de aguas para su debida potabilización, así como también alcantarillado y planta de tratamiento de aguas residuales (GAD-Pelileo 2015, p.20).

El uso del agua y las condiciones de esta, son fundamental para determinar la calidad del agua del cantón Pelileo; las 10 parroquias que componen el territorio cantonal le dan similar uso al agua (agrícola, avícola, ganadero, industrial, piscícola, de consumo, etc.). La calidad del agua en cada parroquia cuando se trata de agua para consumo está bajo los parámetros establecidos por la ley, pero en cuanto a la calidad del agua residual se puede evidenciar cierta contaminación debido al uso en la industria textil y avícola (principalmente en la Matriz del cantón, parroquia Cotaló y la

parroquia Bolívar) esto a su vez afecta a las parroquias que se encuentran en la parte baja, las cuales toman dicha agua y la utilizan generalmente para regadío. Dicha calidad de agua en el cantón Pelileo es buena, pero posee cierta afectación por contaminación antropogénica y eventualmente natural por la actividad volcánica a la que está expuesto dicho cantón, el agua tiene una acidez de 1,2 en escala (GAD-Pelileo 2015, p.25).

Cantón Quero: en el cantón la oferta que se presenta de agua ha disminuido significativamente por efecto de la tala del bosque montano alto (GADM-Quero, 2015,p.34), esto ha causado que arroyos y quebradas, estén casi totalmente agotadas lo cual significa que varias especies endémicas están desapareciendo del sector. El rio Quero y la quebrada Cotohuayco que son las principales fuentes de agua del cantón se encuentran en total contaminación, pues se descarga directamente las aguas servidas de toda la población a lo largo de su cauce, otro foco de contaminación son las descargas de las industrias lactes, así como también lubricadoras (GAD-Quero, 2014, p.20).

El análisis realizado con relación a la calidad del agua dio a notar que el Cantón Quero tiene grandes problemas con la contaminación de las fuentes de agua (ríos y quebradas) por el mal uso del agua y su desprendimiento de la misma sin tratamiento previo. En el cantón existen 13 plantas de tratamiento, pero ninguna de ellas cumple con su funcionamiento idóneo. Esto provoca que la gente que realiza actividades que conllevan al uso de agua, tienda a contaminar la misma lo cual provoca que la calidad de agua del cantón sea mala por la decadente disposición de las aguas servidas principalmente. Las plantas de tratamiento necesitan mejorar su estructura y volver a rediseñarse para mejorar la calidad del agua (GAD-Quero, 2014, p.23).

Cantón Penipe: este cantón se encuentra rodeado en toda su extensión por el Rio Chambo, mientras que en su interior están las microcuencas del Rio Puela, Rio Blanco y el Rio Badcahuan. El agua potable del cantón tiene una dotación por medio de cloración y existen 82 sistemas de dotación en todo el cantón de los cuales solo el 9, 30% cumple con la normativa legal vigente. Generalmente la población se abastece de agua que no es tratada y esto lleva a que gran parte de la población tenga problemas gastrointestinales ya que el agua llega a los hogares por medio de tubos (agua entubada) (GAD-Penipe, 2016, p.21).

La calidad de agua de este cantón se ve deteriorada debido a que los tanques de tratamiento de aguas servidas se encuentran en un total descuido y ya han culminado su vida útil esto en el caso de las parroquias que poseen tanques de tratamiento ya que en otras la descarga es directa a los ríos. Todos estos factores hacen que la calidad de agua del cantón Penipe sea mala o regular en el mejor de los casos. También la calidad del agua se ve afectada por la cantidad de ceniza que se encuentra a las riveras de los cauces hídricos, aunque esto pasa eventualmente cuando existe una erupción el agua entra en contacto con material volcánico causando un desequilibrio en los ecosistemas acuáticos especialmente por el aumento de temperatura (GAD-Penipe, 2016, pp.21-23).

3.1.2.2. Calidad del suelo de los cantones de Pelileo, Quero y Penipe

Cantón Pelileo: las tierras del cantón Pelileo tienen diversidad de uso (agrícola, agropecuario, vegetación natural, urbanización, etc.), dichos usos en reiteradas ocasiones han causado grandes impactos en los suelos especialmente por el aumento de la frontera agropecuaria lo que ha causado procesos de erosiones y por ende daños en los ecosistemas. Otras actividades que afectan a la calidad del suelo es el excesivo uso de fertilizantes químicos (estos además de dañar al suelo causan afectación al aire al ser esparcidos en el mismo, causa un aumento en el cambio climático) y la ganadería intensiva (que genera emisiones de metano a la atmósfera) (GAD-Pelileo 2015, p.7).

En general la calidad de los suelos se está viendo afectada por los factores señalados anteriormente ya que los suelos llevan varios años siendo utilizados con el mismo fin, y lo que se está consiguiendo con esto es un suelo estéril y de baja nutrición (no apto para la agricultura). Provocando que el suelo tenga su primera capa ácida. Los suelos del cantón están clasificados en 8 clases dependiendo del uso al que este designado, pero todos estos usos han llegado en últimas estancias a la erosión e incremento veloz de la frontera agrícola (GAD-Pelileo 2015, p.12).

Cantón Quero: los suelos del cantón están constituidos en gran parte por ceniza volcánica, por lo que poseen una gama extensa de condiciones climáticas, la ceniza de estos suelos proviene del coloso activo que rodea la zona, el Volcán Tungurahua. Es decir, los suelos de Quero son suelos volcánicos de característica franca arenosa en su mayoría (GAD-Quero, 2014, p.13).

En cuanto a la calidad del suelo según los análisis toxicológicos realizados por el GADM Quero en el año 2014 señala que por las labores agrícolas y pecuarias (siembras intensivas de monocultivo) ha generado la destrucción de los suelos por el uso de agroquímicos (que degradan el suelo con gran rapidez). La frontera agrícola también ha crecido significativamente lo que conlleva a la destrucción del páramo, situación que ha causado la desaparición de la fauna y flora, además de procesos de erosión. Sin embargo, la calidad del suelo para la agricultura es buena ya que se producen gran variedad de alimentos (GAD-Quero, 2014, p.14).

Cantón Penipe: los suelos de este cantón pertenecen a los inceptisoles ya que son derivados de material volcánico, su característica principal es la alta fertilidad, la cual ha permitido que sean aptos para el desarrollo de la agricultura y actividades pecuarias; pero también se ha eliminado gran parte de la vegetación debido a las altas temperaturas o a causa de la erosión por el viento, causando la desintegración del suelo (GAD-Penipe, 2016, pp.8-12).

Según la información emitida por el SENPLADES, 2014, estos suelos son suelos de ceniza arenosa profunda, arena gruesa a mediana de 2mm y 0,5 mm; contenido de materia orgánica menor al 1% en profundidad de 0 a 20 centímetros, pH cercano a 7. Según estos análisis se dice

que la calidad del suelo es buena, la ceniza puede llegar a afectar a los cultivos en el momento exacto que entra en contacto con ellos, pero al pasar el tiempo esta se enfría, enriqueciendo al suelo por los minerales que contiene y lo fertiliza logrando que sea un excelente suelo de cultivación (GAD-Penipe, 2016, pp.13-15).

3.1.2.3. Calidad del aire en los cantones de Pelileo, Quero y Penipe

Cantón Pelileo: en este cantón la calidad del aire se ve afectada por la emisión de CO₂ y otros gases que son eliminados por las lavadoras textiles que existen en el cantón, además de las emisiones de las industrias madereras y ganaderas del cantón, pero aun así el viento arrastra estos contaminantes lo que ha producido una buena calidad del aire. En cuanto al parque automotriz, este es actualizado y hay muy baja emisión por parte de este sector (GAD-Pelileo, 2015, pp.56-61).

Cantón Quero: la calidad del aire en este cantón no se encuentra amenazada, pues en el cantón no existen actividades de carácter industrial que perjudiquen el ambiente atmosférico. La actividad ganadera aporta metano a la atmosfera, pero no es un aporte significativo que pueda alterar la calidad del aire (GAD-Quero, 2014, p.36).

Cantón Penipe: la calidad del aire del cantón durante las últimas décadas se ha visto contaminada por la ceniza volcánica, causando afectaciones significativas al ambiente atmosférico, además también existe otras fuentes de contaminación como los motores de combustión interna, fumigaciones agrícolas y la quema de residuos sólidos y residuos vegetales, estos emanan al aire gases y material prearticulado, que son rápidamente arrastrados por las corriente de aire gracias a la geomorfología del cantón (GAD-Penipe, 2016, p.34).

3.1.3. Descripción del ambiente biótico

3.1.3.1. Cantón Santiago de Quero

Flora: La cobertura vegetal natural que posee el cantón Santiago de Quero cubre una superficie aproximada de 3474 hectáreas que representan el 19.94%; es así que la distribución de especies silvestres es distinta en los diferentes pisos altitudinales que posee el cantón; dicha cobertura vegetal se halla vinculada con funciones que benefician a los habitantes de esta zona, ya que sirve como una fuente de materia prima, permite la captación y provisión de agua, regulación del clima, protección de animales locales y la atenuación de la contaminación (GAD-Quero, 2014, pp.34-35).

En general la flora local del cantón se ve amenazada por factores intrínsecos como la intolerancia a cambios ambientales, así como también por factores extrínsecos relacionados con el avance de la frontera agrícola que provoca la tala indiscriminada del bosque andino y la continua agresión hacia el ecosistema del páramo, dichos factores han generado la desaparición o disminución de especies nativas de plantas, pues esto se ve reflejado en el cambio actual de los paisajes del cantón (GAD-Quero, 2014, pp.26-27). A continuación, se detalla la flora del cantón identificada:

Tabla 6-3: Cobertura vegetal del cantón Santiago de Quero

Cobertura vegetal	Género o Especie		(Ha) 2014	%
Herbácea húmeda	<i>Festuca sp., Stipa sp., Poa sp. Y Calamagrostis sp.</i>		109.9	0.64
Arbustiva húmeda	<i>Meclania sp., Salvia sp., Baccharis sp. Y Asphagum sp.</i>		29.8	0.17
Páramo arbustivo	Arbustiva de altura	<i>Calceolaria sp., Stipa sp., Gynoxys sp., Cortadeira sp., Lupinus sp., Puya sp. Y Hypericum sp.</i>	249.4	1.45
	Herbácea de altura	<i>Azorella sp., Bacchans sp., Vaccinium sp. Y Bidens sp.</i>		
Páramo de almohadillas (humedales)	Almohadillas duras	<i>Azorella, Werneria y Plantago</i>	187.1	1.09
	Arbustos y Herbáceas	<i>Jamesonia, Lycopodium, Gentiana, Satureja, Gentianella, Lachemilla, Halenia, Bartsia y Silene</i>		
Páramo de pajonal	Pajonal	<i>Festuca, Stipa y Calamagrostis</i>	2396	13.96
	Plantación forestal	<i>Buddleja, Miconia, Polylepis y Oreopanax</i>		
	Arbustos	<i>Brachyotum, Chuquiragua, Pernettya, Valeriana y Arcytophyllum</i>		
Pastos	<i>Medicago sativa, Lolium hybridum, Dactylis glomerata, Trifolium y trébol y Pennisetum clandestinum</i>		1821.7	10.61
Eucalipto	<i>Eucalyptus</i>		184.5	1.07
Pino	<i>Pinus</i>		251.6	1.47
Cultivos de ciclo corto	<i>Solanum, Allium, Vicia, Pisum y Daucus</i>		5932.6	34.56
Pastos sobre cultivos	Pastos	<i>Lolium hybridum</i>	5827.7	33.95
	Cultivos permanentes	<i>Malus doméstica, Pyrus communis, Vasconcellea, Prunus y Morus</i>		

Fuente: (GAD-Quero, 2014, pp.16-20, 90-91)

Realizado por: Erazo, E.; Morales, V. 2020

Fauna: El cantón posee una gran diversidad de relieves que permiten la formación de pisos altitudinales, estos se hallan influenciados por varios factores físicos como la presión, precipitación y temperatura que permiten el surgimiento de la flora silvestre donde conviven una gran variedad de especies de animales. Hoy en día en el cantón Quero ciertas especies de flora que contribuyen con el sostén de la fauna local han desaparecido, esto ha generado que la vida para la fauna se vuelva insostenible y provoque su disminución e incluso su desaparición (GAD-Quero, 2014, p.26). A continuación, se detalla la fauna identificada en el cantón:

Tabla 7-3: Fauna local del cantón Quero

Clase	Familia	Especie	Nombre común
Aves	Trochilidae	<i>Oreotrochilus Chimborazo</i>	Colibrí de Chimborazo
	Falconidae	<i>Phalcoboenus carunculatus</i>	Curiquingue
	Columbidae	<i>Streptopelia risoria</i>	Tórtolas
	Cathartidae	<i>Vultur gryphus</i>	Quinde de Chimborazo
	Strigidae	<i>Asio otus</i>	Búhos de paramo
	Turdidae	<i>Turdus serranus</i>	Mirlo negro
	Charadriidae	<i>Vanellus resplendens</i>	Gli-Gle
	Falconidae	<i>Falco sparverius</i>	Guarro
Mamíferos	Canidae	<i>Pseudalopex culpaeus</i>	Lobo de páramo
	Muridae	<i>Mus musculus</i>	Ratones
	Canidae	<i>Canis familiaris</i>	Perros
	Leporidae	<i>Oryctolagus cuniculus</i>	Conejo de páramo
	Felidae	<i>Felis silvestris</i>	Gatos
	Didelphidae	<i>Marmosa robinsoni</i>	Raposa
Pez	Astroblepidae	<i>Astroblepus cyclopus</i>	Preñadilla
Anfibio	Craugastoridae	<i>Eleutherodactylus curtipes</i>	Sapo de páramo
Reptil	Tropiduridae	<i>Microlophus peruvianus</i>	+Lagartijas

Fuente: (GAD-Quero, 2014, p.26)

Realizado por: Erazo, E.; Morales, V. 2020

3.1.3.2. Cantón San Pedro de Pelileo

Flora: El cantón Pelileo posee una estepa espinosa montano bajo ubicada en la parroquia Chiquicha, la cual cuenta con una extensión de 789.11 hectáreas, por otro lado, existen también pequeñas áreas naturales localizadas en los cerros Teligote y Mulmul en donde se hallan áreas de

bosques nublados los cuales cuentan con una superficie de 1074.77 hectáreas, pues aquí coexisten más de 80 especies nativas de flora (GAD-Pelileo 2015, pp.16-73). El cantón tiene a su vez un bosque seco montano bajo de 592.57 hectáreas y un área sin información de 948.14 hectáreas ubicada en las faldas del volcán Tungurahua donde la vegetación es muy escasa (GAD-Pelileo 2015, pp.37-38).

Existe una disminución de la vegetación natural del 72% a nivel cantonal, ya que varias especies de flora se han visto amenazadas por los procesos eruptivos del volcán Tungurahua y por el continuo avance de la frontera agrícola hacia los páramos, con una ampliación del 7.56% en la superficie, esto involucra que varias áreas sean taladas y provoquen la pérdida de bosques naturales y de la cobertura vegetal natural, por otra parte, existe un 3% de áreas en el cantón que muestran erosión y abandono agrícola por parte de los habitantes (GAD-Pelileo 2015, pp.55-63).

A continuación, se detalla la flora identificada en el cantón:

Tabla 8-3: Dicotiledóneas locales del cantón Pelileo

Familia	Especie	Nombre común
Rosaceae	<i>Acaena ovalifolia</i> , <i>Hesperomeles obtusifolia</i> , <i>Alchemilla orbiculata</i> , <i>Margyricarpus pinnatus</i> , <i>Polylepis hirsuta</i> , <i>Polylepis reticulata</i> y <i>Rubus spp.</i>	Amor seco, pujín, orejuelas, niguas, yagual, quinua y mora silvestre
Asteraceae	<i>Achyrocline spp.</i> , <i>Ageratina pichinchensis</i> , <i>Baccharis latifolia</i> , <i>Baccharis genistelloides</i> , <i>Bidens andicola</i> , <i>Gnaphalium spp.</i> , <i>Gynoxys buxifolia</i> , <i>Jungia coarctata</i> , <i>Sigesbeckia jorullensis</i> y <i>Taraxacum officinale</i>	Achirocline, botoncillo, chilca común, carqueja, ñachag, oreja de conejo, piquil, zapallo – kiwi, manzanilla del monte y diente de león
Berberidaceae	<i>Berberis warszewiczii</i>	Carasquillo
Lamiaceae	<i>Bystropogon mollis</i>	Tifo
Scrophulariaceae	<i>Buddleja bullata</i>	Quishuar
Calceolariaceae	<i>Calceolaria sp.</i>	Zapatito
Loasaceae	<i>Caiophora sp.</i>	Zambo silvestre
Orobanchaceae	<i>Castilleja sp.</i>	Candelilla
Ericaceae	<i>Ceratostema alatum</i> , <i>Pernettya prostrata</i> ,	Arete y chirimote grande
Solanaceae	<i>Cestrum spp.</i> , <i>Solanum spp.</i> y <i>Solanum nigrum</i>	Sauco negro, lulo de perro y ají del diablo
Apiaceae	<i>Cotopaxia asplundii</i> y <i>Neonelsonia acuminata</i>	Perejil de páramo y zanahoria del monte
Verbenaceae	<i>Duranta spp.</i>	Duranta,

Escalloniaceae	<i>Escallonia myrtilloides</i>	Quinua
Rubiaceae	<i>Galium hypocarpium</i>	Coralito
Geraniaceae	<i>Geranium spp.</i>	Ashpa geranio
Gentianaceae	<i>Gentianella spp.</i>	Genciana
Chloranthaceae	<i>Hedyosmum strigosum</i>	Tarqui
Hypericaceae	<i>Hypericum laricifolium,</i>	Romerillo
Fabaceae	<i>Lupinus pubescens y Trifolium repens</i>	Sacha chocho y trébol blanco
Melastomataceae	<i>Miconia sp.</i>	Colca
Polygalaceae	<i>Monnina crassifolia y Rumex acetosella,</i>	Liguilán y sangre de toro
Myrsinaceae	<i>Myrsine sodiroana</i>	Sambuel
Polygonaceae	<i>Muehlenbeckia tamnifolia</i>	Muelán
Passifloraceae	<i>Passiflora spp. y Passiflora sp.</i>	Taxo y granadilla silvestre
Oxalidaceae	<i>Oxalis lotoides</i>	Chulquillo
Urticaceae	<i>Phenax rugosus</i>	Flores rojas
Plantaginaceae	<i>Plantago rigida y Plantago linearis</i>	Almohadillas y falso llantén
Boraginaceae	<i>Tournefortia spp.</i>	Negrillo
Caprifoliaceae	<i>Valeriana microphylla</i>	Granizo

Fuente: (GAD-Pelileo 2015, pp.16-20 y 31-33)

Realizado por: Erazo, E.; Morales, V. 2020

Tabla 9-3: Monocotiledóneas locales del cantón Pelileo

Familia	Especie	Nombre común
Alstroemeriaceae	<i>Bomarea caldasii y Bomarea lobbiana</i>	Dedalera amarilla y rosada
Poaceae	<i>Anthoxanthum odoratum, Bromus catharticus, Chusquea scandens, Holcus lanatus, Lolium perenne y Stipa ichu</i>	Pasto, pasto, zuro – suro, pasto holco, pasto y paja de páramo
Bromeliaceae	<i>Puya sp.</i>	Achupalla
Cyperaceae	<i>Cyperus spp., Schoenoplectus californicus</i>	Coquito, totora
Dioscoreaceae	<i>Dioscorea spp.</i>	Porotillo
Orchidaceae	<i>Epidendrum spp.</i>	Orquídea

Fuente: (GAD-Pelileo 2015, pp.16-20)

Realizado por: Erazo, E.; Morales, V. 2020

Tabla 10-3: Eudicotiledóneas locales del cantón Pelileo

Familia	Especie	Nombre común
Melastomataceae	<i>Brachyotum ledifolium</i>	Arete del inca
Gentianaceae	<i>Gentiana sedifolia</i> y <i>Halenia weddelliana</i>	Flor del amor y barbas de chivo
Gunneraceae	<i>Gunnera brephogea</i>	Pugze
Asteraceae	<i>Hypochaeris sessiliflora</i> y <i>Monticalia peruviana</i>	Achicoria y jata
Ericaceae	<i>Macleania rupestris</i> y <i>Vaccinium floribundum</i>	Hualicón y mortiño

Fuente: (GAD-Pelileo 2015, pp.16-33)

Realizado por: Erazo, E.; Morales, V. 2020

Fauna: Los cerros Teligote y Mulmul del cantón Pelileo albergan una gran diversidad de animales, dentro de los cuales se encuentran más de 30 especies de pájaros, los cuales en los últimos años se han visto afectados por la caza indiscriminada que existe en la zona por parte de los habitantes y por la pérdida de sus hábitats naturales ya sean por causas naturales o antropogénicas. A continuación, se detalle la fauna existe en a nivel cantonal:

Tabla 11-3: Fauna local del cantón San Pedro de Pelileo

Clase	Familia	Especie	Nombre común
Aves	Accipitridae	<i>Geranoaetus melanoleucus</i>	Guarro
	Turdidae	<i>Turdus serranus</i>	Mirlo negro
	Cardinalidae	<i>Pheucticus chrysogaster</i>	Churuco
	Cardinalidae	<i>Pheucticus chrysopeplus</i>	Picogordo amarillo
	Phasianidae	<i>Perdix perdix</i> y <i>Alectoris rufa</i>	Perdiz
	Hirundinidae	<i>Hirundo rustica</i>	Golondrina común
	Columbidae	<i>Streptopelia turtur</i>	Tórtola europea
	Trochilidae	<i>Mellisuga helenae</i>	Colibrí
	Thraupidae	<i>Sicalis flaveola</i>	Jilguero
	Passeridae	<i>Passer domesticus</i>	Gorrión común
Accipitridae	<i>Gyps fulvus</i>	Buitre leonado	

Mamíferos	Didelphidae	<i>Didelphis albiventris</i>	Raposa
	Mephitidae	<i>Conepatus semistriatus</i>	Zorillo rayado
	Leporidae	<i>Sylvilagus brasiliensis</i> y <i>Oryctolagus cuniculus</i>	Conejo silvestre y de monte
	Cuniculidae	<i>Cuniculus taczanowskii</i>	Sacha cuy
	Muridae	<i>Apodemus sylvaticus</i>	Ratón de monte
Reptil	Lacertidae	<i>Podarcis sp.</i>	Lagartija
Anfibio	Ranidae	<i>Pelophylax perezii</i>	Rana común

Fuente: (GAD-Pelileo 2015, pp.33)

Realizado por: Erazo, E.; Morales, V. 2020

3.1.3.3. Cantón Penipe

Flora: La diversidad de flora se halla localizada en diferentes zonas del cantón como en los pajonales, el Altar, bosques, ríos, lagunas e inclusive un 1.35% de la superficie cantonal conforma parte del área del Parque Nacional Sangay (GAD-Penipe, 2016, pp.57-100). Actualmente la flora albergada dentro de los ecosistemas se ve afectada por las actividades antrópicas del sector debido a la disminución progresiva de sus hábitats, al uso de pesticidas y a cambios de la vegetación natural; por otro lado, otro factor natural que afecta la diversidad de la flora son las constantes reactivaciones del volcán Tungurahua, las cuales ocasionan la caída de ceniza en el sector impidiendo así el proceso natural de fotosíntesis de las plantas y la quema de flores que afectan a la fecundación de frutos y semillas, pues gran parte de los árboles frutales se hallan sembrados a campo abierto (GAD-Penipe, 2016, pp.21-26).

Tabla 12-3: Dicotiledóneas locales del cantón Penipe

Familia	Especie	Nombre común
Araliaceae	<i>Oreopanax heterophyllum</i>	Pumamaqui
Myrtaceae	<i>Myrtus communis</i> y <i>Eucalyptus globulus</i>	Arrayan y eucalipto
Melastomataceae	<i>Miconia spp.</i>	Colca
Juglandaceae	<i>Juglans regia</i>	Nogal
Betulaceae	<i>Alnus acuminata</i>	Aliso
Boraginaceae	<i>Cordia alliodora</i> y <i>Borago officinalis</i>	Laurel y borraja

Meliaceae	<i>Cedrela odorata</i>	Cedro
Scrophulariaceae	<i>Buddleja incana</i>	Quishuar
Rosaceae	<i>Hesperomeles goudotiana, Rubus glaucus, Malus domestica, Prunus domestica, Pyrus communis, Prunus persica, Fragaria vesca y Prunus serotina</i>	Mortiño, mora silvestre, manzana, claudia, pera, durazno, frutilla y capulí
Asteraceae	<i>Baccharis latifolia y Lactuca sativa</i>	Chilca y lechuga
Fabaceae	<i>Spartium junceum, Lupinus bogotensis, Medicago sativa y Vicia faba,</i>	Retama, chocho, alfalfa y haba
Brassicaceae	<i>Nasturtium officinale, Brassica oleracea, Brassica oleracea y Brassica rapa</i>	Berro, coliflor, brócoli y nabo
Plantaginaceae	<i>Plantago major</i>	Llantén mayor
Lauraceae	<i>Persea americana</i>	Aguate
Solanaceae	<i>Solanum betaceum, Physalis peruviana, Solanum tuberosum y Solanum lycopersicum</i>	Tomate de árbol, uvilla, papa y tomate
Rutaceae	<i>Citrus limonum</i>	Limón
Basellaceae	<i>Ullucus tuberosus</i>	Melloco
Cucurbitaceae	<i>Cucurbita maxima y Cucurbita pepo</i>	Zapallo y zucchini
Amaranthaceae	<i>Chenopodium quinoa, Beta vulgaris y Alternanthera spp.</i>	Quinoa, remolacha y escancel
Apiaceae	<i>Petroselinum crispum y Apium graveolens</i>	Perejil y apio
Lamiaceae	<i>Mentha sativa y Melissa officinalis</i>	Hierba buena y toronjil,
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia lactiflua</i>	Lechero

Fuente: (GAD-Penipe, 2016, pp.17-26)

Realizado por: Erazo, E.; Morales, V. 2020

Tabla 13-3: Conífera local del cantón Penipe

Familia	Especie	Nombre común
Pinaceae	<i>Pinus radiata</i>	Pino

Fuente: (GAD-Penipe, 2016, pp.20-22)

Realizado por: Erazo, E.; Morales, V. 2020

Tabla 14-3: Monocotiledóneas locales del cantón Penipe

Familia	Especie	Nombre común
Poaceae	<i>Stipa ichu, Phragmites australis, Pennisetum clandestinum, Triticum aestivum y Hordeum vulgare</i>	Paja, sigse, kikuyo, trigo y cebada
Bromeliaceae	<i>Puya spp.</i>	Achupalla
Amaryllidaceae	<i>Allium cepa</i>	Cebolla blanca
Asparagaceae	<i>Agave spp.</i>	Cabuya

Fuente: (GAD-Penipe, 2016, pp.17-22)

Realizado por: Erazo, E.; Morales, V. 2020

Tabla 15-3: Eudicotiledóneas locales del cantón Penipe

Familia	Especie	Nombre común
Elaeocarpaceae	<i>Vallea stipularis</i>	Sacha capulí
Coriariaceae	<i>Coriaria thymifolia</i>	Shanshi
Passifloraceae	<i>Passiflora mixta</i>	Taxo

Fuente: (GAD-Penipe, 2016, pp.17-22)

Realizado por: Erazo, E.; Morales, V. 2020

Fauna: La conservación de la biodiversidad de fauna a nivel del cantón es limitada, ya que gran parte de aves y mamíferos han desaparecido debido a actividades antropogénicas como la caza, a esto se suman factores naturales como anteriores erupciones del volcán Tungurahua y la existencia de tierras poco fértiles a causa de la escasez de agua que presentan algunas parroquias como Bilbao. En los altos del volcán Tungurahua se ha registrado un pequeño número de mamíferos que permiten en parte conservar sus especies, actualmente no se ha identificado con exactitud las especies de mamíferos que habitan en esa zona (GAD-Penipe, 2016, pp.8-32). Entre la fauna existente en el cantón se encuentra:

Tabla 16-3: Fauna local del cantón Penipe

Clase	Familia	Especie	Nombre común
Aves	Threskiornithidae	<i>Theristicus melanopis</i>	Bandurria carinegra
	Cathartidae	<i>Vultur gryphus</i>	Cóndor
	Accipitridae	<i>Harpyhaliaetus solitarius</i>	Águila solitaria
	Accipitridae	<i>Spizaetus isidori</i>	Águila andina
	Odontophoridae	<i>Odontophorus melanonotus</i>	Corcovado dorsioscuro
	Columbidae	<i>Geotrygon purpurata</i>	Paloma perdiz corona índigo
	Trochilidae	<i>Androdon aequatorialis</i>	Colibrí piquidentado
	Picidae	<i>Celeus loricatus</i>	Carpintero canelo
	Columbidae	<i>Patagioenas fasciata</i>	Paloma Torcaza Collareja
	Falconidae	<i>Falco sparverius</i>	Cernícalo Americano/Quilico
	Trochilidae	<i>Colibri delphinae</i>	Quinde café
	Psittacidae	<i>Pionus tumultuosus</i>	Loro Carijaspeado
	Emberizidae	<i>Zonotrichia capensis</i>	Chingolo (Gorrión criollo)
	Cardinalidae	<i>Pheucticus chrysogaster</i>	Huiracchuro
Mamíferos	Ursidae	<i>Tremarctos ornatus</i>	Oso de anteojos
	Cervidae	<i>Pudu mephistophiles</i>	Ciervo enano
	Mustelidae	<i>Lontra longicaudis</i>	Nutria común
	Dinomyidae	<i>Dinomys branickii</i>	Pacarana
	Erethizontidae	<i>Coendou quichua</i>	Puerco espín andino
	Cervidae	<i>Mazama rufina</i>	Venado rojo
	Canidae	<i>Lycalopex sechurae</i>	Perro de monte de sechura
	Cuniculidae	<i>Cuniculus taczanowskii</i>	Guanta de monte
	Canidae	<i>Lycalopex culpaeus</i>	Lobo de paramo
	Tayassuidae	<i>Pecari tajacu</i>	Pecarí de collar
	Tayassuidae	<i>Tayassu pecari</i>	Pecarí de labio blanco
	Leporidae	<i>Sylvilagus andinus</i>	Conejo andino
	Didelphidae	<i>Marmosa zeledoni</i>	Raposa chica
	Cricetidae	<i>Microryzomys altissimus</i> y <i>Microryzomys minutus</i>	Ratón arrocero altísimo y ratón arrocero diminuto
	Heteromyidae	<i>Heteromys teleus</i>	Ratón bolsero ecuatoriano
Tapiridae	<i>Tapirus pinchaque</i>	Tapir de monte	
Felidae	<i>Felis concolor</i>	Puma	

Mamíferos		<i>Cavia sp.</i>	Cuy
	Canidae	<i>Lycalopex culpaeus</i>	Zorro andino
	Cervidae	<i>Odocoileus virginianus</i>	Venado de cola blanca
	Sciuridae	<i>Sciurus granatensis</i>	Ardilla
Pez	Salmonidae	<i>Salmo trutta</i>	Trucha

Fuente: (GAD-Penipe, 2016, pp.32-33)

Realizado por: Erazo, E.; Morales, V. 2020

3.1.4. Descripción del medio socio-económico

3.1.4.1. Cantón Santiago de Quero

De acuerdo con el censo de población y vivienda llevado a cabo en el año 2010 se detalla que el cantón Quero cuenta con una población de 19205 habitantes de los cuales 9489 pertenecen al género masculino y 9716 al femenino, pues cuentan con una tasa de crecimiento anual del 0.89%; por otra parte, la población predominante del cantón es joven pues existen 1904 individuos que poseen un rango de edad entre 10 a 14 años y 1968 personas entre 15 a 19 años (GAD-Quero, 2014, pp.38-43). En base a la distribución de la población en las parroquias del cantón en el año 2010, se espera que la proyección para el año 2020 sea de:

Tabla 17-3: Población del cantón Quero 2020

Parroquia	Población 2020	Porcentaje
Quero (La Matriz)	15575	74.22
Yanayacu – Mochapata	2161	10.30
Rumipamba	3248	15.48
Total	20984	100

Fuente: (GAD-Quero, 2014, pp.38-39)

Realizado por: Erazo, E.; Morales, V. 2020

El cantón cuenta con una tasa de alfabetización del 90.42% con un porcentaje de analfabetismo del 9.58%, por lo que de cada 100 habitantes 10 de ellos no saben leer ni escribir (GAD-Quero, 2014, pp.49-50). Los grupos étnicos que habitan en el cantón corresponde en su mayoría a personas mestizas pues cuentan con un 96.87% de la población total, seguido de un 1.13% de blancos, un

0.99% indígenas, un 0.73% afros, un 0.22% montubios y un 0.06% perteneciente a otro tipo de etnia no definida (GAD-Quero, 2014, pp.43-69).

Según el censo del 2010 existe 9186 personas que son económicamente activas, de estas el 67.57% pertenece al sector primario; por otra parte, el 10.72% corresponde al sector secundario; el 18.54% de personas se hallan vinculadas en el sector terciario y el 3.17% restante abarca a personas del sector no declarado (GAD-Quero, 2014, pp.69-83).

Tabla 18-3: Actividades productivas principales del cantón Quero

Sector		Habitantes	%
Primario	Agrícola, ganadero, pesca, caza y silvicultura	6206	67.57
Secundario	Industrias manufactureras, productos lácteos, artesanías y producción de muebles y calzado	985	10.72
Terciario	Actividades de alojamiento y alimentación, suministro de agua, transporte, construcción, comunicaciones, comercio, así como actividades de índole profesionales, financieras, administración pública o de salud	1703	18.54
No declarado		292	3.17
Total		9186	100

Fuente: (GAD-Quero, 2014, p.82)

Realizado por: Erazo, E.; Morales, V. 2020

Santiago de Quero cuenta con un centro de salud tipo C, así como con cuatro puestos de salud denominados: Gualcanga, El Santuario, Yanayacu y San Antonio; en donde laboran 77 profesionales, personal de servicio y técnicos (GAD-Quero, 2014, pp.52-53). Las principales enfermedades que han causado la mortalidad de los habitantes hasta el año 2014 son: neumonía con un 24%, hipertensión arterial con un 21%, insuficiencia renal con un 11%, enfermedad pulmonar crónica con un 8% y otro tipo de enfermedad con un 36% (GAD-Quero, 2014, p.55).

La cobertura de alcantarillado en el área urbana del cantón es del 87.72% mientras que en el área rural es del 17.96%, por lo que de cada 100 habitantes 87 poseen un sistema de alcantarillado (GAD-Quero, 2014, p.120). Por otro lado, la cobertura de agua potable en el área urbana es del 72.85% y en el área rural del 27.83%; de esta cobertura el 64.59% corresponde a agua de red pública, el 28.60% de río o vertiente y el 0.58% a otro tipo; es decir, de cada 100 habitantes 72 reciben agua de la red pública (GAD-Quero, 2014, pp.67-120). Por otra parte, la cobertura de energía eléctrica en el área urbana es del 98.36% y en el área rural de 8.91%, es así que de cada 100 habitantes 98 cuentan con un servicio eléctrico. Asimismo, la recolección de residuos sólidos en el área urbana

abarca un porcentaje del 88.94% y la rural del 8.91%, en otras palabras, de cada 100 personas 88 poseen este servicio (GAD-Quero, 2014, pp.120-121).

3.1.4.2. Cantón San Pedro de Pelileo

Según el censo de población y vivienda del año 2010, en el cantón Pelileo existen 56573 personas, de las cuales 29246 son mujeres y 27327 son hombres, con una tasa de crecimiento anual a partir del año 2011 al 2025 de 1.6%, es por ello que la proyección poblacional para el año 2020 es de 66305 habitantes. La población predominante del cantón es joven pues se halla en un rango de edad de 0 y 20 años (GAD-Pelileo 2015, pp.103-104). El cantón cuenta con una cabecera cantonal y ocho parroquias en donde la población para el año 2020 se encuentra distribuida de la siguiente forma:

Tabla 19-3: Población del cantón Pelileo 2020

Parroquia	Número de habitantes 2020	Porcentaje
Pelileo	28848	43.51
Benítez	2558	3.86
Bolívar	3180	4.80
Chiquicha	2866	4.32
Cotaló	2170	3.27
El Rosario	3092	4.66
García Moreno	7478	11.28
Huambaló	9214	13.90
Salasaca	6899	10.40
Total	66305	100

Fuente: (GAD-Pelileo 2015, pp.71-75)

Realizado por: Erazo, E.; Morales, V. 2020

El mayor grupo étnico que habita en el cantón corresponde a la población mestiza con un 84.44%, seguido de la indígena con un 12.58%, en tercer lugar se hallan los blancos con un 1.90%, el cuarto lugar es ocupado por el grupo de negro-afroecuatoriano con un 0.50%, el quinto y sexto lugar corresponden a mulatos y montubios con un porcentaje de 0.17% y 0.35%, además existe en la zona un 0.05% de personas que se hallan en otro grupo étnico (GAD-Pelileo 2015, pp.113-114).

A nivel del área urbana existe una tasa de analfabetismo del 3.36% y a nivel del área rural del 9.8%, ante lo cual la tasa de asistencia por parte de niños y jóvenes del cantón a la educación básica es del 94.65%, al bachillerato de 53.82% y a la educación superior de 20.79% (GAD-Pelileo 2015, pp.106-107).

La población económicamente activa en el territorio durante el año 2010 es de 27620 personas, de las cuales 12326 pertenecen al género femenino y 15294 al masculino (GAD-Pelileo 2015, pp.125-126). El principal sector dentro de la dinámica económica del cantón es el primario, pues aquí se hallan 11163 individuos; por otra parte, en el sector secundario se encuentran 6951 personas, las cuales se ocupan de la industria manufacturera a través de la producción de textiles en Pelileo y la fabricación de muebles en Huambaló; asimismo, el sector terciario agrupa a 9506 personas (GAD-Pelileo 2015, pp.126-127).

Tabla 20-3: Principales actividades productivas del cantón Pelileo

Sector		Habitantes	%
Primario	Agricultura, silvicultura, pesca y caza	11 163	40.42
Secundario	Industrias manufactureras	6951	25.16
Terciario	Explotación de minas y canteras, suministro de servicios públicos, construcción, comercio, transporte, enseñanza, arte, administración pública; así como de actividades de alojamiento, comunicación, financieras, inmobiliarias, profesionales, servicios administrativos, atención a la salud humana y otras actividades de servicio	9506	34.42
Total		27620	100

Fuente: (GAD-Pelileo 2015, pp.125-126)

Realizado por: Erazo, E.; Morales, V. 2020

Según el ministerio de salud pública, el cantón cuenta con un hospital público básico ubicado en Pelileo, además de centros de salud los cuales se hallan en cada una de las parroquias, asimismo se han habilitado puestos de salud para los caseríos Teligote y Artesón; se han construido igualmente tres hospitales tipo A en la parroquia García Moreno y un hospital tipo B en las parroquias de Huambaló y Salasaca; por otra parte, existen también clínicas que permiten conjuntamente con el servicio de atención pública atender las exigencias de salud de toda la población cantonal (GAD-Pelileo 2015, pp.108-109). Las principales enfermedades que han causado la mortalidad de los habitantes son: 43 casos de enfermedades del corazón que representan el 14%, 30 casos de neumonía que figura el 10%, 27 hallazgos anormales que conforman el 9% y otros tipos de enfermedad con un reporte de 83 casos que representan el 27% (GAD-Pelileo 2015, pp.109).

El cantón cuenta con una cobertura de agua del 82.8%, con un suministro de agua por red en 9302 viviendas y con un déficit de abastecimiento de este líquido en 10637 casas; la cobertura de alcantarillado en todo el cantón es del 49.38%, es así que parroquias como Chiquicha, El Rosario, Huambaló y Salasaca registran un déficit de cobertura de 4.99, 16.10, 30.46 y 31.33 por ciento respectivamente; este déficit se halla relacionado con la dispersión de la población por el cantón.; por el contrario, la cobertura de energía eléctrica es del 95.68%.; en cambio, la cobertura de desechos sólidos es del 54.95%, donde se halla un déficit del 12.54% en El Rosario, un 32.99% en Salasaca y un 44.93% en la parroquia Chiquicha (GAD-Pelileo 2015, pp.154-155).

3.1.4.3. Cantón Penipe

Por medio del censo de población efectuado en el año 2010 se identificó que en el cantón habitan 6739 individuos, de los cuales 3465 son mujeres y 3274 son hombres. La población predominante del cantón se halla en un rango de edad de 10 a 14 años, este índice poblacional limita la capacidad reproductiva del cantón, por lo cual a partir del año 2014 se evidencia un decaimiento de la población hasta el 2020, año en el que actualmente la población es de 6955 habitantes (GAD-Penipe, 2016, pp.38-42). El cantón Penipe se halla conformado por siete parroquias, las cuales para el año 2020 contarán con una población de:

Tabla 21-3: Población del cantón Penipe 2020

Parroquia	Número de habitantes 2020	Porcentaje
Penipe	2156	31
Bilbao	202	2.90
Puela	642	9.23
El Altar	1306	18.78
San Antonio de Bayushig	1136	16.33
Matus	1023	14.71
La Candelaria	490	7.05
Total	6955	100

Fuente: (GAD-Penipe, 2016, pp.41-42)

Realizado por: Erazo, E.; Morales, V. 2020

El grupo étnico que mayoritariamente habita en el cantón es el mestizo pues corresponde al 95.98% del total de la población, seguido de un 1.2% de blancos y un 2.82% de otras etnias en donde se agrupan indígenas, mulatos, afro ecuatorianos y montubios (GAD-Penipe, 2016, p.54).

Del total de la población existente en el año 2010, solamente 1615 personas asisten a establecimientos de enseñanza, de este total, el porcentaje de quienes acceden a la educación superior por cada parroquia es de: 10% en Matus, 8.7% en San Antonio de Bayushig, 7.9% en El Altar, el 7.8% en Puela, 7.33% en La Candelaria, el 6.55% en Bilbao y un 4.5% en Penipe (GAD-Penipe, 2016, pp.43-46).

En base al censo del año 2010, la población económicamente activa del cantón se halla constituida por 2979 personas, las cuales conforman el 42.35% del total de habitantes (GAD-Penipe, 2016, p.62). El 64.54% de dicha población económicamente activa se encarga de actividades relacionadas con la agricultura, ganadería, silvicultura y pesca; el 4.29% labora en industrias manufactureras; el 3.82% en la construcción, el 3.46% en el comercio al por mayor y menor, el 3.32% en actividades de hogares como empleadores, el 2.72% en el transporte y almacenamiento, el 2.62% en la enseñanza, el 2.68% en la administración pública y defensa, el 1.27% en otras actividades de servicio, el 1.01% en actividades de alojamiento y comida y el 10.27% restante de la población se desarrolla en otras labores (GAD-Penipe, 2016, pp.62-68).

La cabecera cantonal cuenta con un subcentro de salud y con una corporación de carácter privado denominada CEBYCAM-CES, la cual busca contrastar el bocio que afecta al 40% de los habitantes del cantón. Por otra parte, el cantón dispone a su vez de puestos de salud situados en las parroquias Bayushig, Matus, El Altar, La Candelaria y Bilbao; en las parroquias El Altar y Puela se hallan localizados dentro de las comunidades El Gunzo y El Manzano respectivamente (GAD-Penipe, 2016, pp.47-48). Las enfermedades que mayoritariamente han aquejado a los habitantes del cantón hasta el año 2011 son:

Tabla 22-3: Principales enfermedades de la población del cantón Penipe

Tipo de enfermedad	Número de casos	Porcentaje
Infecciones respiratorias	6536	62.86
Parasitosis	1210	11.64
Afecciones en vías urinarias	468	4.50
Vaginitis	429	4.12
Diarrea aguda	341	3.28
Otros	1414	13.60
Total	10398	100

Fuente: (GAD-Penipe, 2016, p.49)

Realizado por: Erazo, E.; Morales, V. 2020

El 79.4% de la población se dota de agua a través de la red pública, el 16.3% lo realiza por medio de ríos o vertientes y el 4.3% restante posee otra forma de abastecimiento, es así que 1783 viviendas del cantón cuentan con este líquido vital. Por otra parte, el alcantarillado beneficia al 31.2% de la población del cantón. Por el contrario, la cobertura de energía eléctrica en viviendas es del 89.3%. Finalmente, el 11.83% de las viviendas del cantón Penipe cuentan con el servicio de recolección de basura a través del carro recolector provisto por el municipio, mientras que el 88.17% no dispone de dicho servicio (GAD-Penipe, 2016, pp.94-97).

3.1.5. *Determinación del área de influencia*

3.1.5.1. *Área de influencia directa*

El área de influencia directa de la actividad volcánica según información bibliográfica recolectada por el Instituto Geofísico en el 2016 fueron: en la provincia de Chimborazo: Penipe con sus parroquias, Bilbao, Puela, El Altar, Palitagua y Bayushig; en la provincia de Tungurahua: el cantón Pelileo con sus parroquias Huambaló, Cotaló, Benítez, y Bolívar; el Cantón Quero con sus parroquias Yanayacu, La Dolorosa, Rumipamba y Querochaca; en los cantones de Cevallos y Mocha se vieron afectadas sus cabeceras cantonales. Estos sectores fueron los lugares donde la ceniza emitida por el volcán causó gran afectación a la agricultura, ganadería y a la salud humana por varias décadas (Instituto Geofísico, 2017, p.9).

En estos sectores y principalmente en las más cercanas parroquias de Penipe el daño se evidencia hasta la fecha, pues las grandes quebradas que se formaron debido a las erupciones y el deslizamiento de material piroclástico aun dificultan la circulación vehicular en algunas vías que conectan a este cantón con cantones cercanos como Baños y Pelileo. Durante las erupciones volcánicas se produjo la caída de ceniza y cascajo mayoritariamente, estos dañaron los cultivos por el cambio brusco de temperatura y causaron daños intestinales en los animales que consumían el pasto (GAD-Penipe, 2016, pp.63-70).

3.1.5.2. *Área de influencia indirecta*

Las áreas de influencia indirecta de la actividad volcánica son muchas pues la ceniza emitida por el volcán Tungurahua alcanza varios cientos de kilómetros debido a la fuerza de las erupciones y a la dirección de los vientos. Entre los lugares que la actividad volcánica tuvo lugar tenemos: en

la provincia de Chimborazo los cantones de Colta, Chambo, Alauís, Riobamba, Papallacta; en la provincia de Tungurahua: Ambato, Baños, Patate, Píllaro, Tisaleo; también se ha encontrado caída de ceniza en las provincias de Guayas, Cotopaxi, Pichincha y Bolívar entre los más representativos (Instituto Geofísico, 2017, pp.9-10).

3.1.6. Identificación de aspectos y evaluación de impactos ambientales

3.1.6.1. Identificación de aspectos ambientales

Tabla 23-3: Matriz de identificación de actividades, aspectos e impactos ambientales

MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTALES DE LOS CANTONES QUERO, PELILEO Y PENIPE			
Zona	Actividad	Aspectos	Impactos
Agrícola	Caída de ceniza volcánica	Presencia de metales pesados	Contaminación del suelo
			Acidificación del suelo
			Disminución de la adsorción específica de otros cationes
			Desequilibrio en la composición de materia orgánica
			Inhibición de la actividad enzimática en el suelo
			Desequilibrio de macro y micronutrientes en el suelo
			Inhibición de procesos de mineralización en suelos
			Baja acumulación de nutrientes en el suelo
			Reducción de la diversidad microbiana
			Aumento de poblaciones microbianas resistentes a metales pesados
			Perdida de microfauna del suelo
			Deficiencia de macronutrientes para plantas
Reducción en el crecimiento de plantas			

Ganadera	Caída de ceniza volcánica	Ingestión de ceniza volcánica	Reducción del peso seco de la biomasa de tallos y raíces de plantas
			Disminución de contenido de clorofila en plantas
			Disminución de fotosíntesis de plantas
			Reducción de la producción de cultivos
			Necrosis de hojas de plantas
			Problemas digestivos en animales
			Intoxicación y muerte de animales de granja
			Déficit nutricional en el animal
			Problemas dentarios
			Baja calidad de carne
			Baja producción láctea
			Disminución del potencial reproductivo
Socioeconómica	Actividad volcánica	Presencia de material volcánico	Daños en la infraestructura
			Limitación de la comunicación vial
			Daños en maquinarias de trabajo
			Daños en la infraestructura vial
			Dificultad para la comercialización
			Obstrucción de medios de comunicación
Social	Caída de ceniza volcánica	Alteración de la salud humana	Enfermedades respiratorias
			Daños intestinales
		Alteración de la calidad de vida	Pobreza
			Migración

Realizado por: Erazo, E.; Morales, V. 2020

3.2. Análisis de las Encuestas

3.2.1. Sección 1: Datos personales

Edad

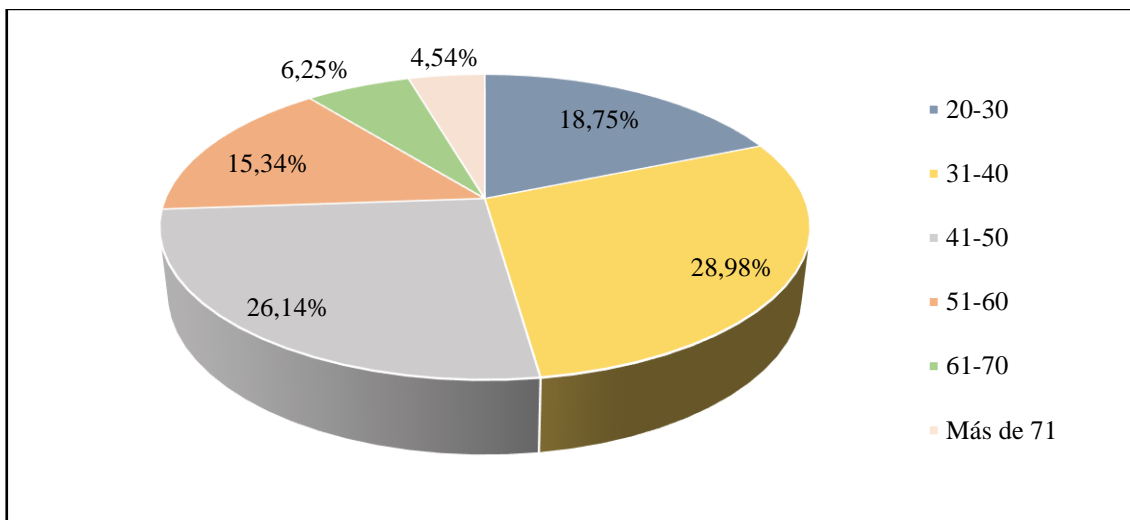


Gráfico 1-3. Edad de los pobladores encuestados

Realizado por: Erazo E., Morales V. 2020

Interpretación:

La gráfica refleja que del total de la población encuestada, el 28.98% posee un rango de edad entre 31 a 40 años, seguido por un 26.14% de individuos cuyas edades se encuentran entre los 41 a 50 años, el 18.75% y el 15.34% de las personas indican que sus edades bordean los 20 a 30 y 51 a 60 años de edad respectivamente, a diferencia del 6.25% que comprende a sujetos de 61 a 70 años mientras que, el 4.54% restante engloba a aquellas personas que sobrepasan los 71 años de edad.

Genero

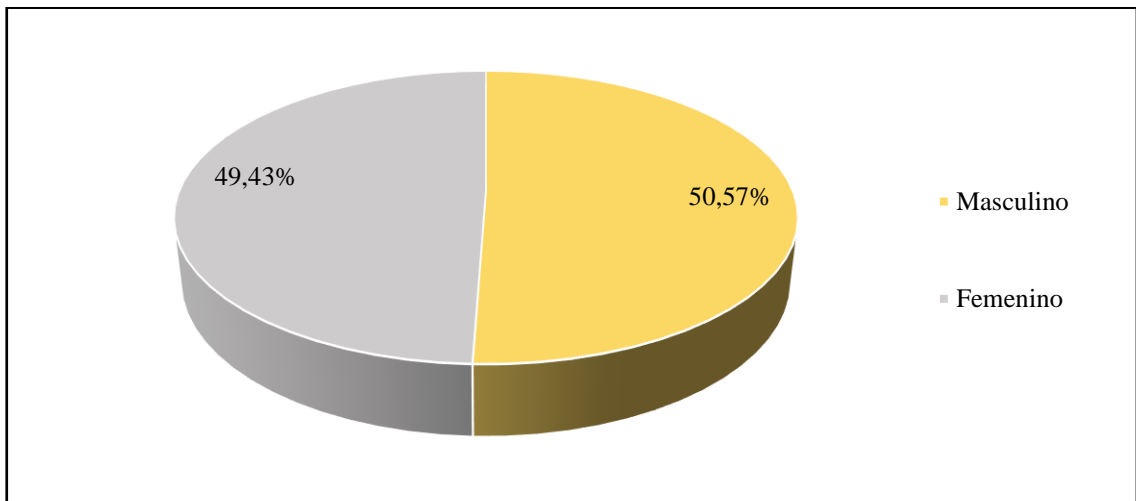


Gráfico 2-3. Género de los pobladores encuestados

Realizado por: Erazo E., Morales V. 2020

Interpretación:

De acuerdo con el desglose de los datos en cuanto al género de la población entrevistada, se determina que el 50.57% corresponde a individuos de género masculino, mientras que el 49.43% a personas del género femenino.

Ocupación

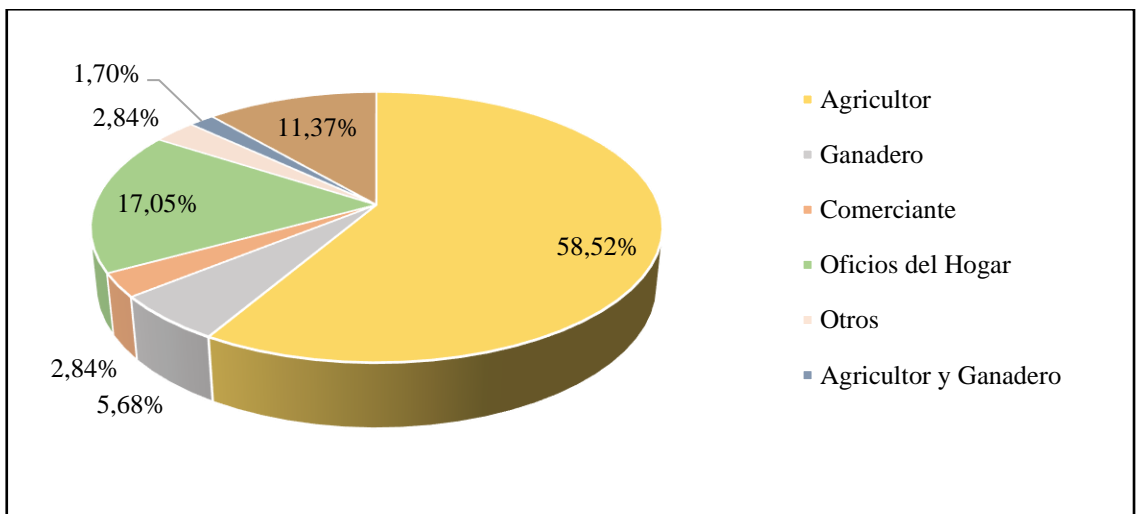


Gráfico 3-3. Ocupación laboral de los pobladores encuestados

Realizado por: Erazo, E.; Morales, V. 2020

Interpretación:

Entre la población entrevistada se encontró que la ocupación laboral de agricultor es la más demanda en las provincias de Tungurahua y Chimborazo pues corresponde a 103 individuos que representan el 58.52% del total de las encuestas, seguido por oficios del hogar que comprende el 17.05%, el 11.37% de las personas encuestadas señalan que realizan oficios de hogar y agricultura a la vez, mientras que el 5.68% son netamente ganaderos, por otra parte existe un porcentaje idéntico de 2.84% para aquellas personas que son comerciantes o que se dedican a otros oficios no contemplados dentro de las respuestas propuestas, finalmente se evidencia que el 1.70% restante engloba a aquellos sujetos que realizan actividades de agricultura y ganadería conjuntamente.

3.2.2. Sección 2: desarrollo

Motivos para vivir en la zona

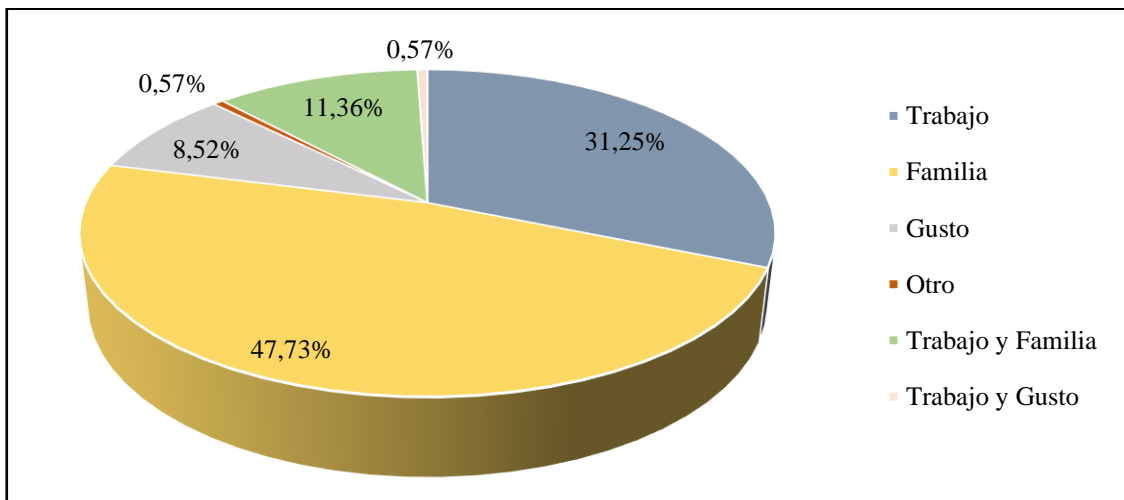


Gráfico 4-3. Motivos de los pobladores encuestados para vivir dentro de las zonas de Tungurahua y Chimborazo

Realizado por: Erazo E., Morales V. 2020

Interpretación:

El 47,73% de la población encuestada viven en la zona de estudio por motivos familiares, mientras que el 31,25% reside en estos lugares por motivos de trabajo; el 8,52% conviven en la zona por gusto y el 11,36% ha indicado que ocupan este lugar por motivos familiares y de trabajo; apenas un 0,57% mencionan vivir por otros motivos, o, por trabajo y gusto. Lo que nos lleva a concluir

que la mayoría de la población residente en la zona de estudio ocupa este lugar como vivienda debido a herencias familiares, es decir, se considera que la mayoría de las personas han heredado su espacio de vivienda por asentamientos sociales desde la antigüedad. Pero por otra parte se debe considerar que el segundo factor que caracteriza a las personas que moran en el sector, es el del trabajo, por lo cual se puede deducir que es una zona comercial, donde se produce o se genera un cierto tipo de movimiento económico, acorde a los recursos y actividades propias del sector.

¿Tiempo en que vive en la zona?

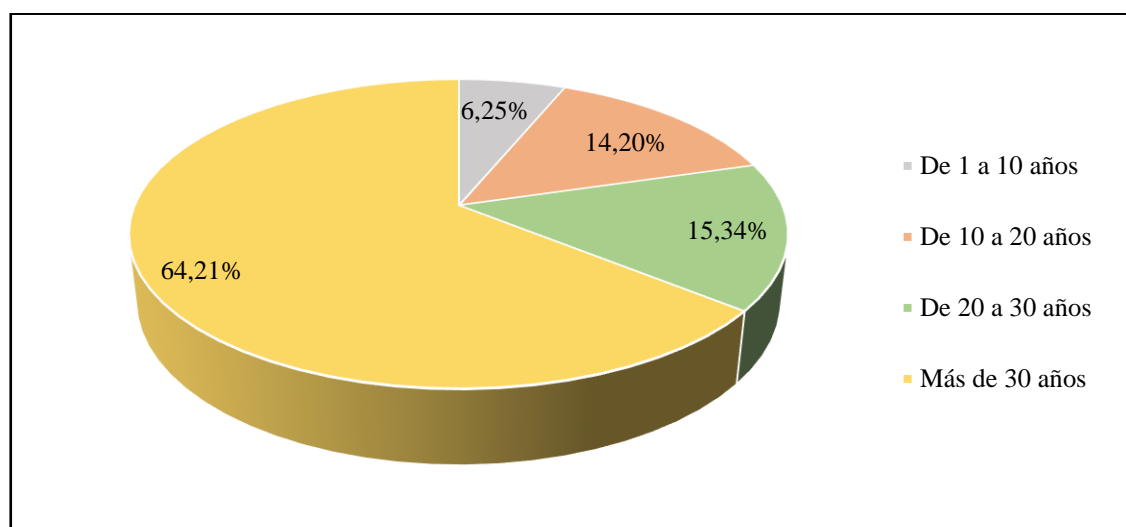


Gráfico 5-3. Tiempo de residencia de los pobladores encuestados

Realizado por: Erazo E., Morales V. 2020

Interpretación:

En su mayoría la población encuestada reside en el lugar más de 30 años con una representación del 64,21% del total de resultados obtenidos, mientras que el 15,34% se encuentran acentuados en el lugar de estudio de 20 a 30 años, indicando de esta manera que apenas el 14,20% viven de 10 a 20 años, y, el 6,25% reside de 1 a 10 años. Dando a entender de esta manera que la mayoría de población residente tiene un extenso rango de tiempo ocupando el lugar, por lo cual se podrán conocer las principales características sobre el comportamiento agrícola ya que, al residir más tiempo en el sector, sus habitantes pueden conocer el nivel de productividad del suelo en las distintas épocas del año y acorde con los productos que se cultiven en la zona.

¿Cuál considera usted que es una de las mayores amenazas naturales de su zona?

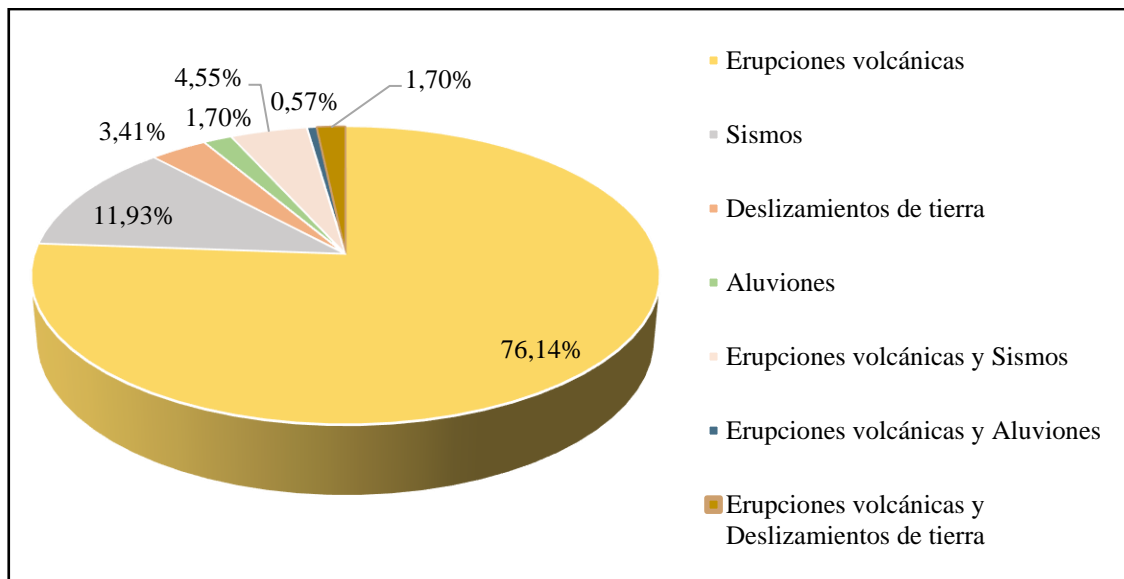


Gráfico 6-3. Amenazas naturales de las zonas de Tungurahua y Chimborazo

Realizado por: Erazo E., Morales V. 2020

Interpretación:

El 76,14% de la población entrevistada menciona que la mayor amenaza natural de la zona trata sobre las erupciones volcánicas, mientras que el 11,93% menciona que los sismos son considerados como una amenaza natural; el 3,41% temen al deslizamiento de tierra, el 1,70% mencionan que los aluviones son una amenaza. Con los resultados restantes existe una combinación de opiniones donde se hace referencia en 4,55% a las erupciones volcánicas y sismos; mientras que el 0,57% teme a erupciones volcánicas y aluviones, y el 1,70% combina el temor a las erupciones volcánicas y deslizamiento de tierra. Es decir, la mayoría de las prevenciones que se toma en la zona de estudio es el cuidado de las erupciones volcánicas, sin dejar a un lado la preocupación sísmica del lugar y los aluviones que se pueden presentar.

¿Considera usted que vive en una zona de peligro volcánico?

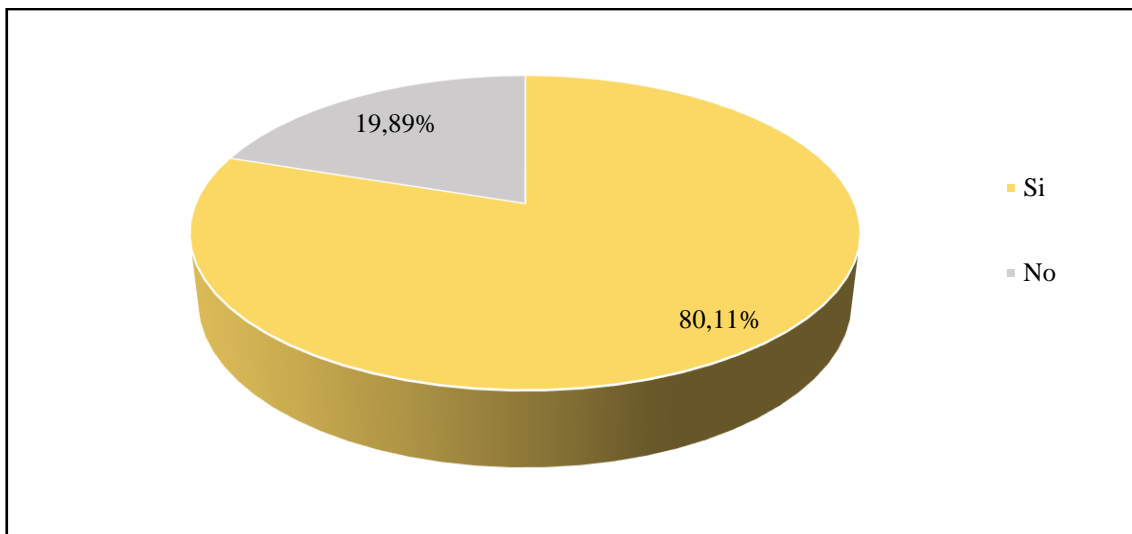


Gráfico 7-3. Zonas de peligro volcánico

Realizado por: Erazo E., Morales V. 2020

Interpretación:

Debido a la ubicación el 80,11% de la población entrevistada considera que vive en una zona de peligro volcánico; por otra parte, el 19,89% señala que no existe riesgo de peligro volcánico. Los datos proporcionan información relevante sobre las consideraciones de personas propias del lugar, donde predomina las prevenciones sobre riesgos volcánicos, aunque existe un mínimo porcentaje que opina no temer a dichos riesgos, se debe examinar la frecuencia de mayor alcance para poder considerar los factores principales de la información recolectada.

¿Debido al proceso eruptivo del volcán Tungurahua, que material volcánico considera usted que ha causado mayor afectación a la zona donde reside?

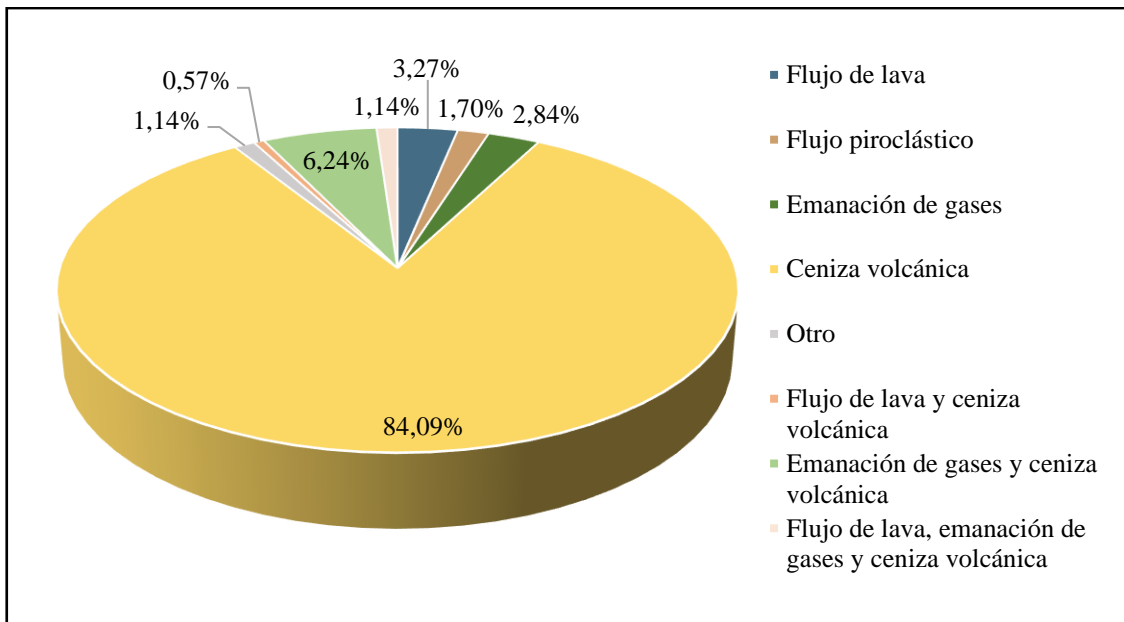


Gráfico 8-3. Materiales volcánicos con mayor incidencia sobre las provincias de Tungurahua y Chimborazo

Realizado por: Erazo E., Morales V. 2020

Interpretación:

La ceniza volcánica es el mayor factor de afectación en la zona de estudio ya que participa con 84,09% del total del resultado, por otra parte, el 3,27% opina que el flujo de lava es otro factor de afectación al igual que el flujo piroclástico que apenas alcanza el 1,70% de participación en los resultados, de igual forma el 2,84% menciona que la emanación de gases es considerado un producto volcánico de afectación en la zona, y, apenas el 1,14% considera a otros factores como influyentes en el bienestar del área en estudio. En base a estos factores existen criterios combinados, con participación menor sobre los productos volcánicos con mayor incidencia en la zona de estudio, lo cual toma como base a la presencia de ceniza como un factor de mayor intervención en el bienestar del suelo.

¿Usted cree que existan riesgos para la salud de las personas, habitar en sectores cercanos propensos a lidiar con la actividad eruptiva del volcán Tungurahua?

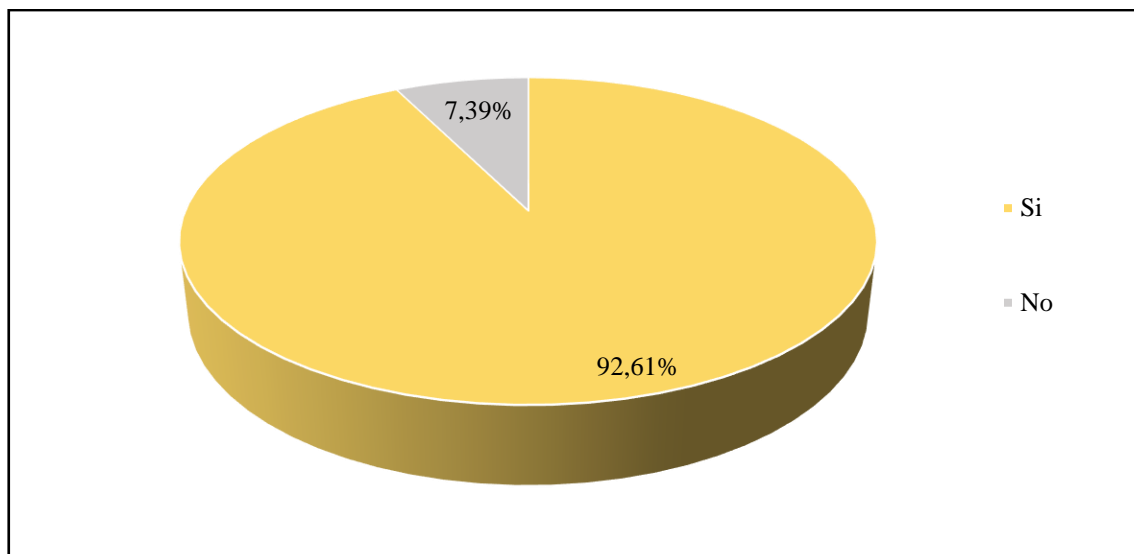


Gráfico 9-3. Riesgos de salud de los pobladores encuetados por causa de la actividad del volcán Tungurahua

Realizado por: Erazo E., Morales V. 2020

Interpretación:

Claramente el 92,61% de la población intervenida considera que existen riesgos para la salud el hecho de habitar en sectores propensos a lidiar con actividad volcánica; por otra parte, el 7,39% no considera riesgoso el habitar en zonas cercanas a erupciones volcánicas, mostrando de esta manera que es un número minúsculo de personas que no le temen o quizás desconocen los distintos riesgos para la salud que trae consigo habitar en sectores cercanos a una erupción volcánica. Por tal motivo es necesario poder comprender los mayores riesgos o la mayor afectación a la salud que puede provocar el factor antes mencionado, y a su vez sería recomendable dar a conocer dichos riesgos para que la población pueda tomar las precauciones necesarias del caso.

¿Considera que la ceniza volcánica emitida por el volcán Tungurahua puede afectar la calidad del suelo?

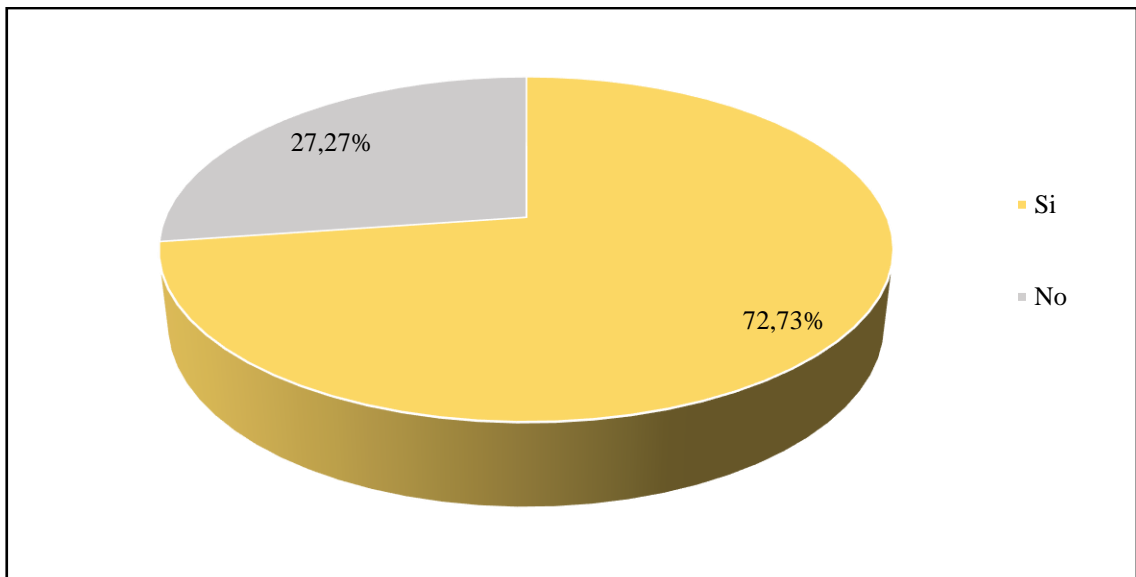


Gráfico 10-3. Calidad de suelo afectado positiva o negativamente por ceniza volcánica

Realizado por: Erazo E., Morales V. 2020

Interpretación

El 72.73% considera que la presencia de ceniza volcánica afecta el suelo de la zona en estudio por lo cual se debe determinar si la afectación es positiva o negativa en los nutrientes que conforman al suelo del sector; el 27.27% considera que la ceniza volcánica no es un factor que interviene en la afectación del suelo, por lo cual, se debe tener en cuenta los dos criterios para poder proceder con las evaluaciones necesarias y demostrar si la afectación de la ceniza es de manera positiva o negativa acorde al sector en estudio.

¿Qué rango de afectación piensa usted que la ceniza volcánica puede provocar en la calidad del suelo donde reside?

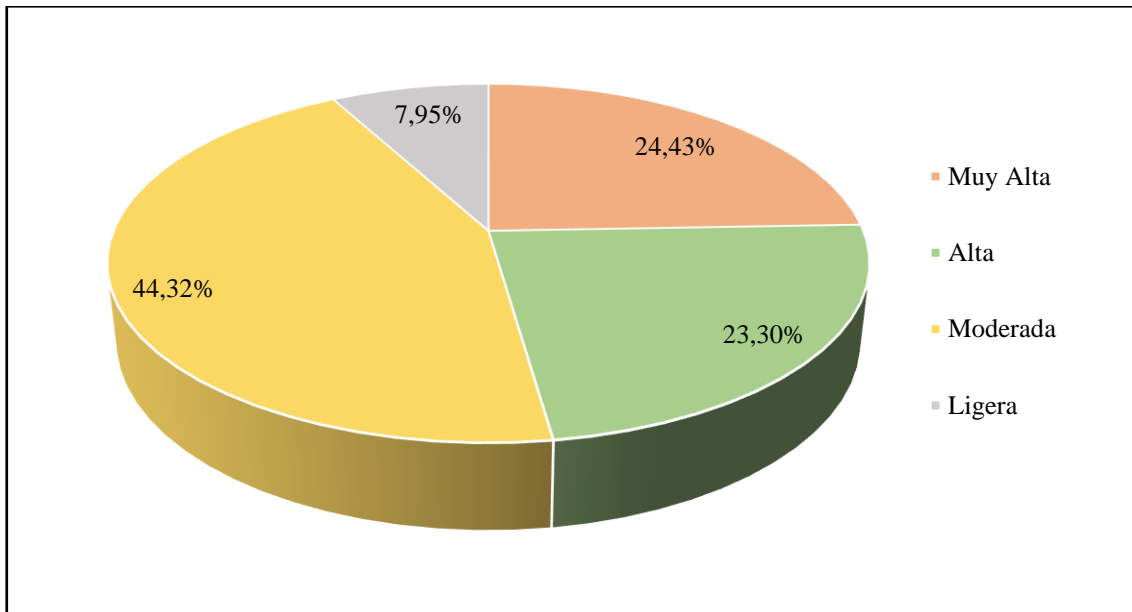


Gráfico 11-3. Calidad del suelo afectada por la interacción con ceniza volcánica

Realizado por: Erazo E., Morales V. 2020

Interpretación:

En el análisis al factor de afectación de la ceniza volcánica sobre el suelo, se considera en 44,32% como una afectación moderada, mientras que el 23,30% opina que es la ceniza de volcán es un riesgo alta influencia; el 24,43% opina que el riesgo de afectación de la ceniza es muy alto y el 7,95% restante menciona que la ceniza tiene un efecto ligero sobre la afectación al suelo. En este contexto, los análisis sobre la composición del suelo en circunstancias normales y bajo la presencia de ceniza, ayudarán a corroborar el rango propio de afectación al suelo.

¿Considera usted que la incorporación de ceniza volcánica proveniente del volcán Tungurahua a suelos agrícolas de su sector contribuye con la incorporación de nutrientes y mejoramiento de la textura del mismo?

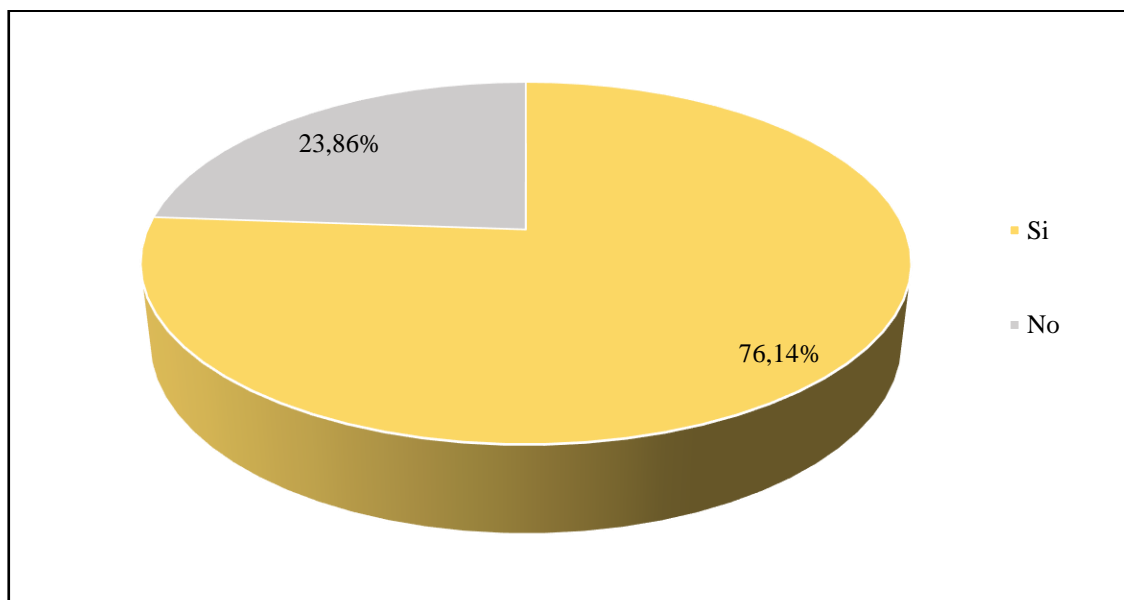


Gráfico 12-3. Suelos agrícolas influenciados positiva o negativamente por causa de la incorporación de ceniza volcánica

Realizado por: Erazo E., Morales V. 2020

Interpretación:

La mayoría de habitantes de la población investigada en un 76,14% menciona que la ceniza volcánica contribuye de manera positiva a la incorporación de nutrientes y mejoramiento de la textura del suelo en el sector; mientras que, el 23,86% tiene una opinión opuesta a la anterior mencionada, ya que consideran que la presencia de ceniza no ayuda al mejoramiento del suelo, de sus nutrientes o de su textura, por tal motivo se deberán demostrar con evidencias si la presencia de la ceniza mejora o no la calidad del suelo.

Tras la incorporación de ceniza volcánica a suelos agrícolas de su zona, esta fue removida del mismo de forma:

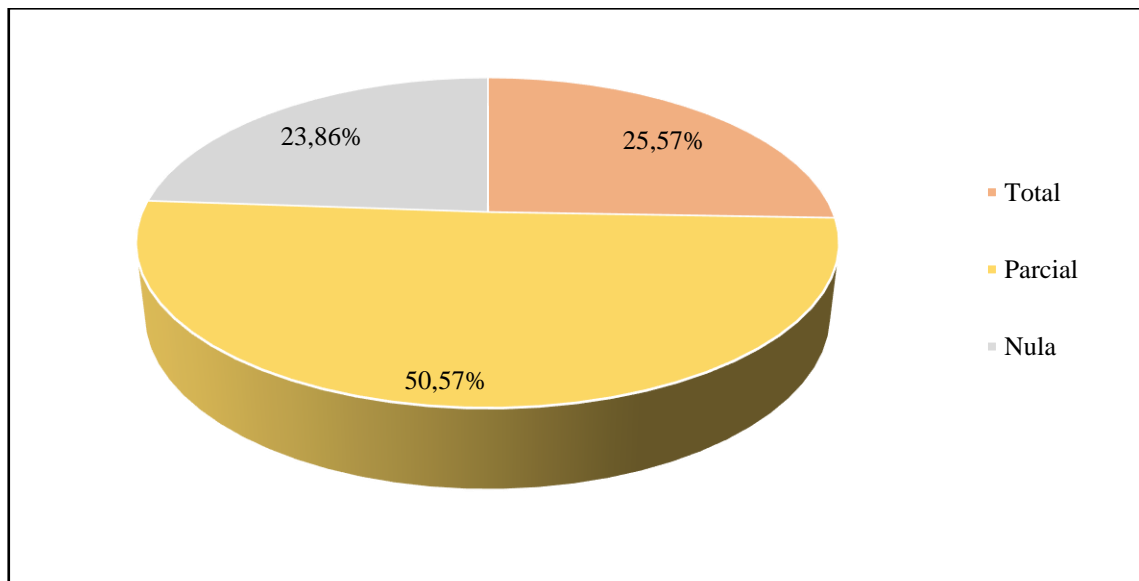


Gráfico 13-3. Remoción de ceniza volcánica en suelos

Realizado por: Erazo E., Morales V. 2020

Interpretación:

Cuando ha existido la presencia de ceniza en el suelo del sector bajo investigación, su remoción ha sido parcial con un 50,57%, mientras que el 25,57% considera que han removido la presencia de ceniza ha sido de forma total, y, el 23,86% mencionan que no ha existido remoción de ceniza. Estas opiniones se deben al plan de acción del sector en cuanto exista la presencia de ceniza volcánica, entre otros factores como organización de las comunidades o el accionar de sus representantes durante estos fenómenos naturales.

¿Tras el proceso eruptivo del volcán Tungurahua, ha observado usted cambios en el tipo de cultivo de su zona por otros menos susceptibles al material volcánico?

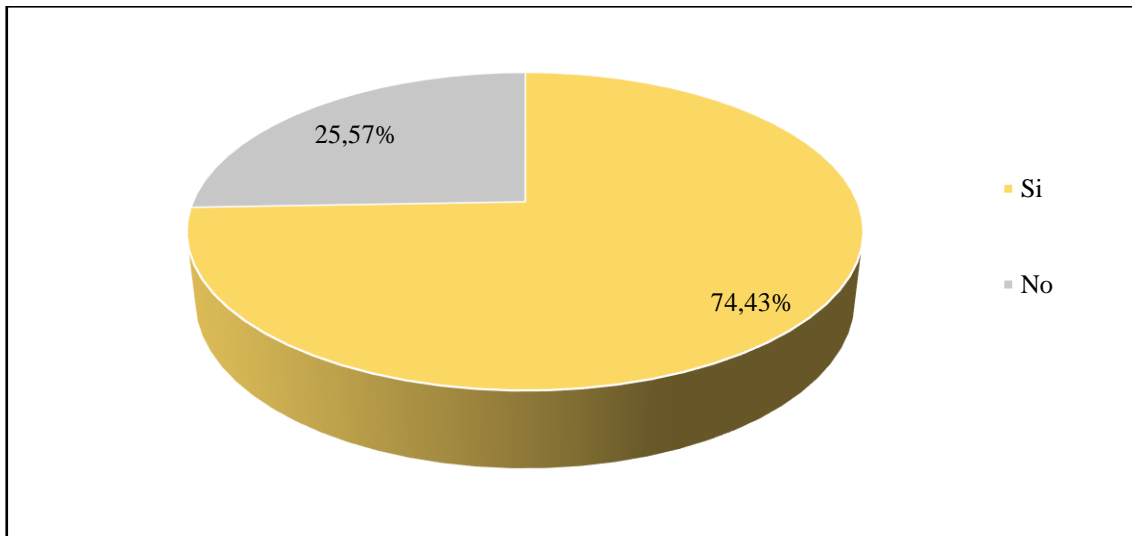


Gráfico 14-3. Cultivos menos susceptibles a material volcánico

Realizado por: Erazo E., Morales V. 2020

Interpretación:

El 74,43% ha cambiado sus hábitos de cultivo debido a la presencia de ceniza volcánica, en sentido opuesto, el 25,57% considera que no ha existido cambio en los cultivos, pero a pesar de estos resultados, los cambios de cultivos se han podido notar en el sector, ya que los habitantes que se dedican a la agricultura temen sufrir nuevamente pérdidas en la inversión sobre el cultivo del suelo.

En el caso de ser positiva su respuesta, ¿Cuál es el nuevo cultivo menos susceptible al material volcánico cultivado en su zona?

Del total de personas entrevistadas, 50 de ellas opinaron que tuvieron que cambiar sus cultivos por maíz al ser menos susceptible al material volcánico que la papa; 34 habitantes expresaron que sus antiguos sembríos fueron cambiados por frutas como manzanas, claudias y taxos; 20 moradores optaron por cultivar papas, mientras que 13 individuos plantaron pasto como medida alternativa, 12 pobladores se inclinaron por sembríos de cebolla, habas o zanahoria. Finalmente, 2 personas opinaron que optaron por sembrar cultivos mixtos que se basan en papas con pasto o maíz con papas.

¿Considera usted que una vez finalizado el proceso eruptivo del volcán Tungurahua, las cosechas de la zona se han vuelto más productivas?

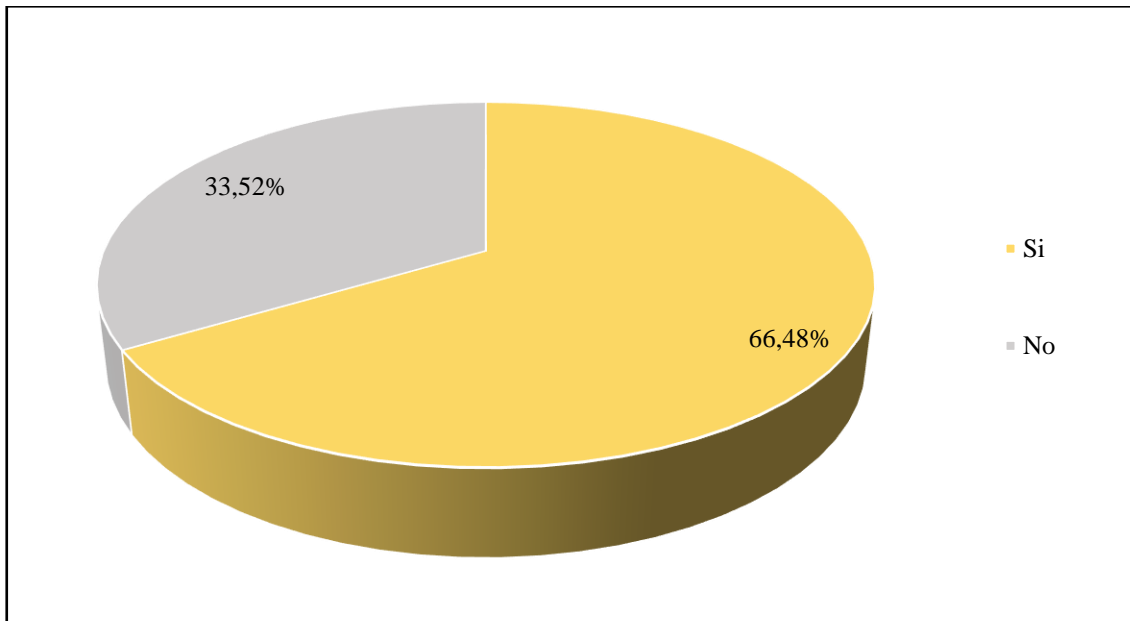


Gráfico 15-3. Porcentaje de cosechas productivas vs cosechas no productivas tras finalizar el proceso eruptivo del volcán Tungurahua

Realizado por: Erazo E., Morales V. 2020

Interpretación:

Dependiendo de los cultivos que se promuevan en el sector el 66,48% considera que al culminar de la actividad volcánica el suelo se ha vuelto más productivo; el 33,52% no considera que haya mejorado el cultivo del suelo después de la presencia de actividad volcánica. La consideración sobre el mejoramiento de cultivos también se debe al tipo de cultivo que se trabajan en el sector y a los distintos momentos de agricultura y presencia de actividad volcánica.

Actualmente, ¿Qué tipo de cultivos son los más comunes en la zona donde usted reside?

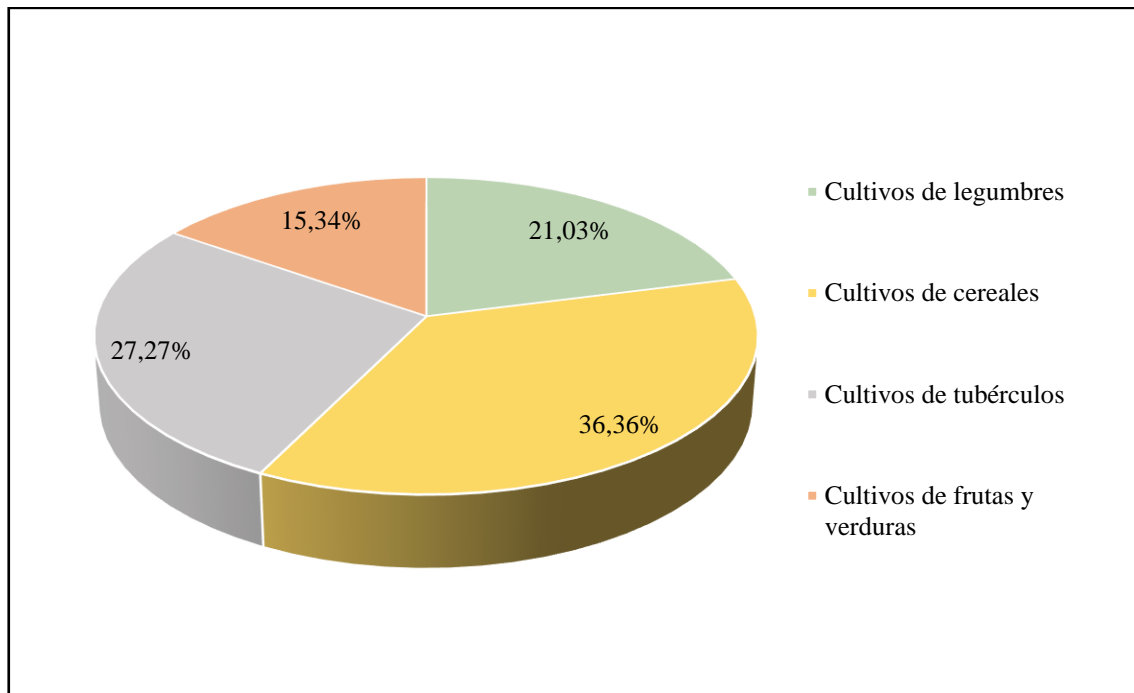


Gráfico 16-3. Cultivos comunes de las zonas de Tungurahua y Chimborazo

Realizado por: Erazo E., Morales V. 2020

Interpretación:

El cultivo de cereales predomina en el sector en estudio con un 36,36%, seguido a este el 27,27% cultiva tubérculos, el 21,03% se dedica al cultivo de legumbres y apenas el 15,34% trabajan en el cultivo de frutas y verduras. Es decir, que la mayoría de los cultivos que se dan en el sector se debe al tipo cereales, ya que tienen una mayor resistencia a la presencia de materiales volcánicos y a su vez por que aprovecha los nutrientes del suelo bajo estas circunstancias.

¿Considera usted que el suelo de su zona se halla influenciado por metales pesados?

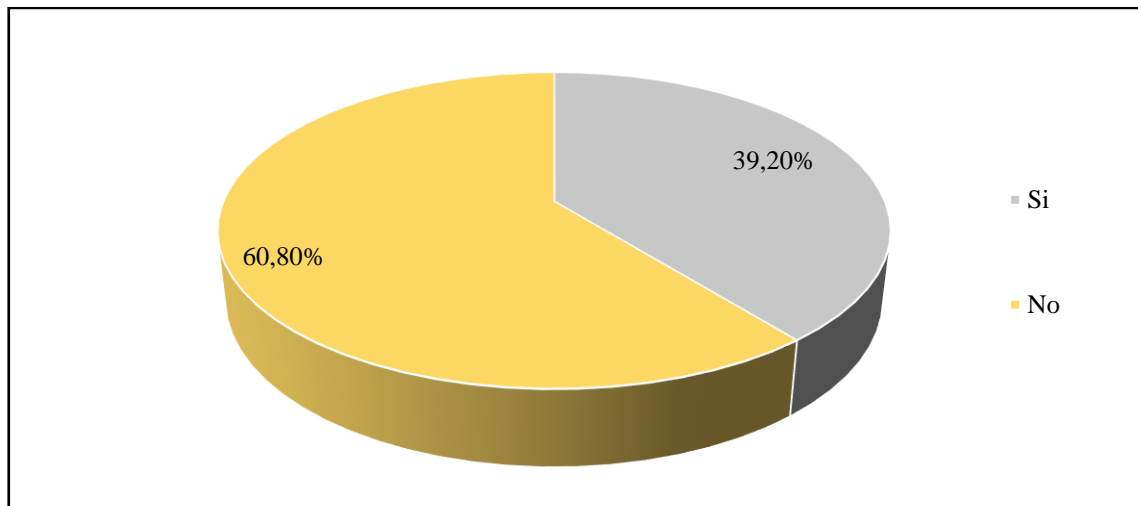


Gráfico 17-3. Influencia de metales pesados en suelos

Realizado por: Erazo E., Morales V. 2020

Interpretación:

Las presencias de metales pesados son considerados de manera negativa por los habitantes del sector quienes respondieron en 60,80% de forma negativa, mientras que el 39,20% menciona que los metales pesados actúan como agentes de bienestar en el suelo para los cultivos. Es necesario estudiar de manera detallada la presencia de metales pesados en el suelo para lograr determinar de manera científica si su presencia influye de manera positiva o negativa.

En el caso de ser positiva su respuesta, ¿Cuál cree usted que es el principal promotor de la existencia de dichos metales pesados en el suelo de su zona?

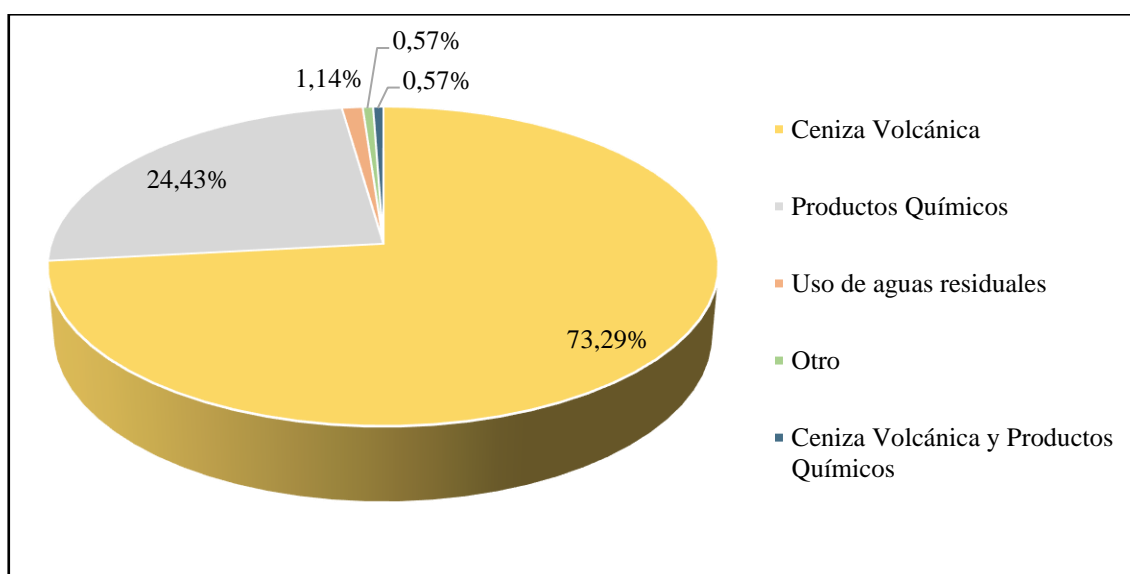


Gráfico 18-3. Factores que contribuyen con la presencia de metales pesados en suelos

Realizado por: Erazo E., Morales V. 2020

Interpretación:

Al conocer que existen metales pesados en el suelo del sector en estudio el 73,29% menciona que se debe a la presencia de ceniza volcánica, el 24,43% mencionan que su presencia se debe a los productos químicos, 1,14% considera que la presencia de metales en el suelo se debe a las aguas residuales, y el 0,57% menciona que se deben a otros factores. Para poder demostrar el principal agente de aportación de metales pesados al suelo, se debe analizar de forma profundizada la composición de la ceniza versus la composición de los demás factores para poder determinar cuál de ellos es el mayor portador de metales pesados.

3.2.3. Uso de fertilizantes sintéticos

¿Qué tan común es la frecuencia de ocurrencia de prácticas agrícolas en la zona donde usted reside?

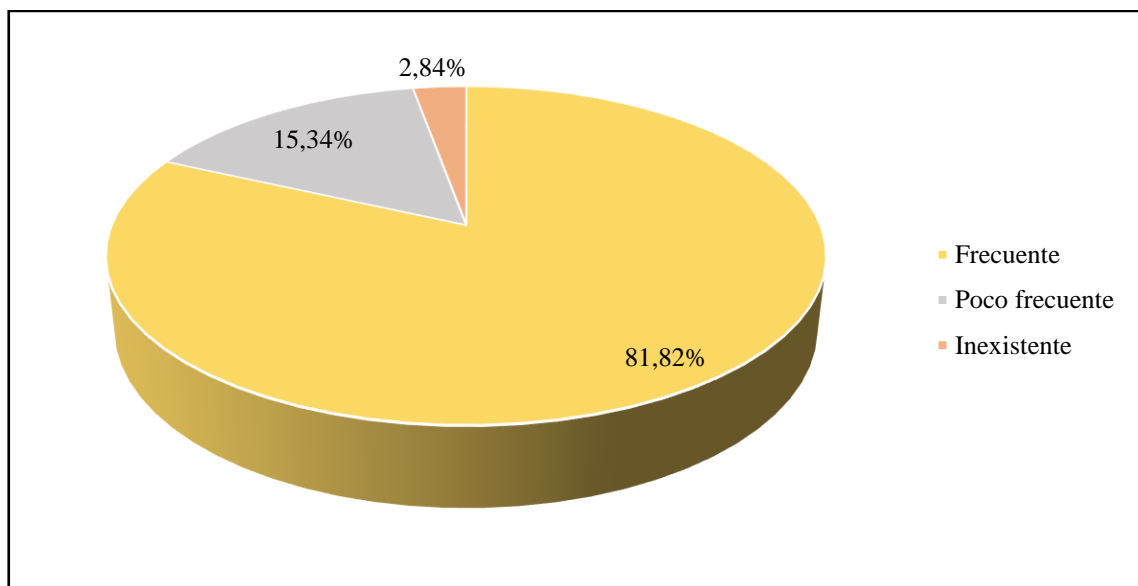


Gráfico 19-3. Frecuencia de uso de fertilizantes sintéticos en suelos

Realizado por: Erazo E., Morales V. 2020

Interpretación:

El 81,82% de la población intervenida menciona que utilizan fertilizantes sintéticos, y el 15,34% mencionan que con muy poca frecuencia utilizan dichos fertilizantes. Apenas un 2,84% no utilizan fertilizantes en sus cultivos. Es importante reconocer cual es el comportamiento productivo del suelo con y sin el uso de fertilizantes, para poder comprobar si su presencia tiene una incidencia positiva o negativa.

Uso de plaguicidas (herbicidas, insecticidas y fungicidas)

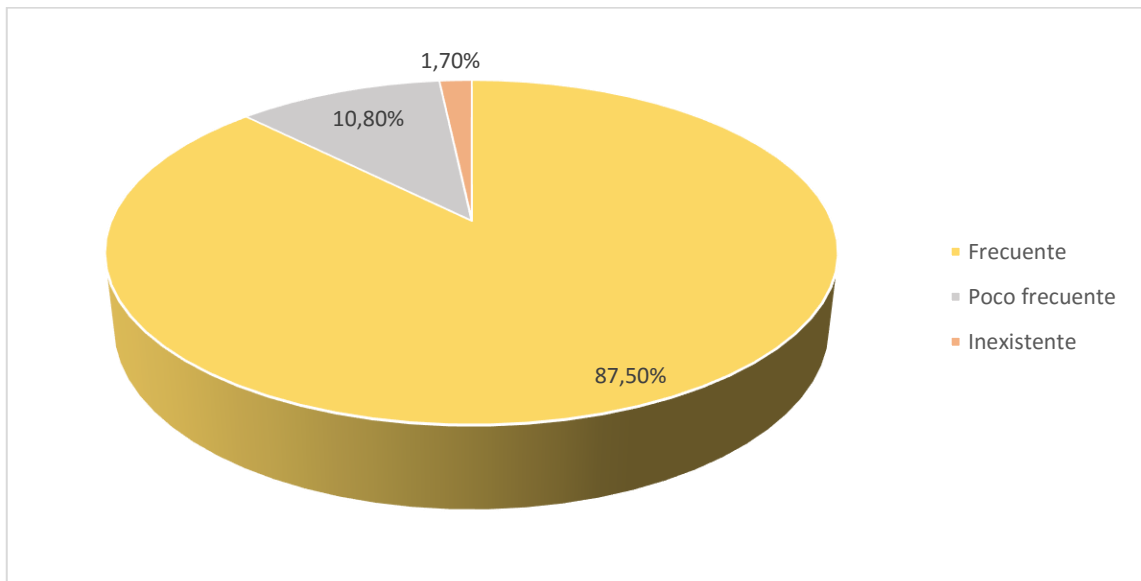


Gráfico 20-3. Frecuencia de uso de plaguicidas en suelos

Realizado por: Erazo E., Morales V. 2020

Interpretación:

El uso de plaguicidas de manera frecuente alcanza un 87,5% sobre los resultados obtenidos, mientras que apenas el 10,80% lo utilizan de manera ocasional, y el 1,70% no ocupa plaguicidas en sus cultivos; esto quiere decir que, es frecuente el uso de plaguicidas durante las prácticas agrícolas, por lo cual se debe demostrar si su presencia es positiva o negativa en los cultivos trabajados.

Uso de lodos de aguas residuales como fertilizantes

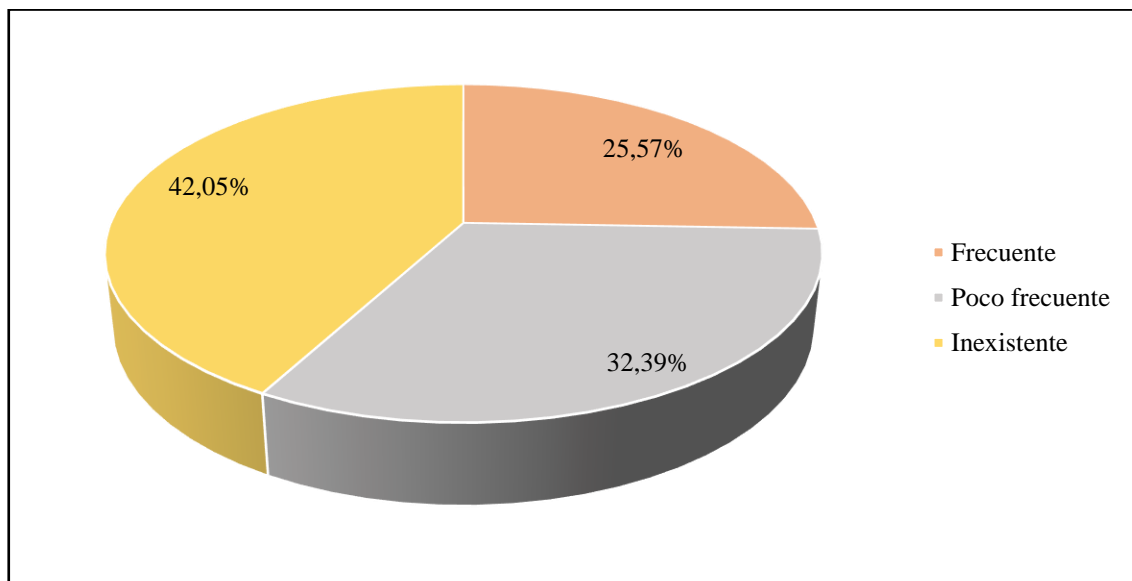


Gráfico 21-3. Frecuencia de uso de lodos de aguas residuales como fertilizantes en suelos

Realizado por: Erazo E., Morales V. 2020

Interpretación:

Las aguas residuales son escasamente utilizadas en las prácticas agrícolas apenas alcanza un 25,57% de participación frecuente, pero el 32,39% lo utilizan de manera poco frecuente y el 42,05% no ocupa las aguas residuales en el proceso de cultivos agrícolas. Es notorio que no se tiene en consideración el uso frecuente de aguas residuales para la agricultura en el sector de estudio.

3.3. Matrices de identificación y valoración de impactos ambientales

3.3.1. Matriz causa – efecto

Tabla 24-3: Matriz causa- efecto de las principales actividades productivas de los cantones Quero, Pelileo y Penipe

Componente		Zona	Agrícola	Ganadera	Socioeconómica	Social
Factor ambiental		Actividad	Caída de ceniza volcánica		Actividad volcánica	Caída de ceniza volcánica
Aspecto						
Abiótico						
Suelo	Presencia de metales pesados	X	Contaminación del suelo			
		X	Acidificación del suelo			
		X	Disminución de la adsorción específica de otros cationes			
		X	Desequilibrio en la composición de materia orgánica			
		X	Inhibición de la actividad enzimática en el suelo			
		X	Desequilibrio de macro y micronutrientes en el suelo			
		X	Inhibición de procesos de mineralización en suelos			
		X	Baja acumulación de nutrientes en el suelo			
		X	Reducción de la diversidad microbiana			
		X	Aumento de microorganismos resistentes a metales pesados			
		X	Perdida de microfauna del suelo			
		X	Deficiencia de macronutrientes para plantas			
		X	Reducción en el crecimiento de plantas			
		X	Reducción del peso seco de la biomasa de plantas			
		X	Disminución de contenido de clorofila en plantas			
		X	Disminución de fotosíntesis de plantas			
		X	Reducción de la producción de cultivos			
		X	Necrosis de hojas de plantas			
			Problemas digestivos en animales			
			Intoxicación y muerte de animales de granja			
			Déficit nutricional en el animal			
			Problemas dentarios			
			Baja calidad de carne			
			Baja producción láctea			
			Disminución del potencial reproductivo			
			Daños en la infraestructura			
			Limitación de la comunicación vial			
			Daños en maquinarias de trabajo			
			Daños en la infraestructura vial			
			Dificultad para la comercialización			
			Obstrucción de medios de comunicación			
			Enfermedades respiratorias			
			Daños intestinales			
			Pobreza y migración			

		Uso del suelo	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X																								
		Relieve																															X					
	Aire	Materia particulada																																	X			
		Gases																																	X			
	Agua	Calidad del agua	X	X	X		X	X					X				X	X	X						X										X			
		Transporte de sedimentos	X	X	X						X		X	X	X											X						X	X					
	Perceptual	Modificación del paisaje																																	X			
Biótico	Flora	Cultivos																X	X	X				X	X													
		Pastos																	X	X	X				X	X												

	Fauna	Microf auna	X					X	X	X		X																																		
		Anima les de granja																				X	X	X	X	X	X	X																		
Socioeconómico	Económico	Econo mía local																							X	X		X	X	X	X	X	X									X				
		Calida d de vida																											X	X		X		X	X	X	X			X	X	X	X			
	Social	Salud																				X	X	X	X	X	X	X														X	X			
		Relaci ones sociale s																												X		X	X	X										X		
		Cambi o del patrón de vida																																												X

Realizado por: Erazo E., Morales V. 2020

3.3.2. Matriz de Leopold

Tabla 25-3: Matriz de Leopold de las principales actividades productivas de los cantones Quero, Pelileo y Penipe

Componente	Zona	Agrícola	Ganadera	Comercial	Colectiva
	Factor ambiental	Actividad	Caída de ceniza volcánica	Actividad volcánica	Caída de ceniza volcánica
Aspecto		Caída de ceniza volcánica	Caída de ceniza volcánica	Actividad volcánica	Caída de ceniza volcánica
	Contaminación del suelo				
	Acidificación del suelo				
	Disminución de la adsorción específica de otros cationes				
	Desequilibrio en la composición de materia orgánica				
	Inhibición de la actividad enzimática en el suelo				
	Desequilibrio de macro y micronutrientes en el suelo				
	Inhibición de procesos de mineralización en suelos				
	Baja acumulación de nutrientes en el suelo				
	Reducción de la diversidad microbiana				
	Aumento de microorganismos resistentes a metales pesados				
	Perdida de microfauna del suelo				
	Deficiencia de macronutrientes para plantas				
	Reducción en el crecimiento de plantas				
	Reducción del peso seco de la biomasa de plantas				
	Disminución de contenido de clorofila en plantas				
	Disminución de fotosíntesis de plantas				
	Reducción de la producción de cultivos				
	Necrosis de hojas de plantas				
	Problemas digestivos en animales				
	Intoxicación y muerte de animales de granja				
	Déficit nutricional en el animal				
	Problemas dentarios				
	Baja calidad de carne				
	Baja producción láctea				
	Disminución del potencial reproductivo				
	Daños en la infraestructura				
	Limitación de la comunicación vial				
	Daños en maquinarias de trabajo				
	Daños en la infraestructura vial				
	Dificultad para la comercialización				
	Obstrucción de medios de comunicación				
	Enfermedades respiratorias				
	Daños intestinales				
	Pobreza y migración				

	Fauna	Microfauna	-9					-15	-9	-15																							
		Animales de granja													-35	-18	-15	-9	-42	-80	-9												
Socioeconómico	Económico	Economía local															-15	-15		-49	-35	-15	-35	-35			-9				-80		
		Calidad de vida																			-49	-15		-15				-9	-56	-42	-42		
	Social	Salud																-35	-35	-35	-9	-35	-42	-9							-90	-15	
		Relaciones sociales																															-49
		Cambio del patrón de vida																															-56
Compatible (9-19)																			46														
Moderado (20-35)																			20														
Severo (36-55)																			23														
Crítico (>56)																			18														
Total																			107														

Realizado por: Erazo E., Morales V. 2020

La evaluación de los impactos ambientales mediante su valoración cualitativa a través de una matriz causa-efecto (tabla 24-3), permitió relacionar cada factor ambiental afectado por la actividad del volcán Tungurahua, particularmente con la caída de ceniza.

El análisis cuantitativo de cada una de las actividades registradas en la matriz de Leopold, como se observa en la tabla 25-3, revela un total de 107 interacciones de carácter negativo relacionadas con los diferentes componentes ambientales, es así que al evaluar su severidad o grado total de afectación se establecieron 46 impactos compatibles, cuya recuperación es inmediata tras el cese de la emisión de ceniza volcánica; así mismo, se obtuvieron 20 impactos moderados, cuyo tiempo de recuperación es más prolongado; por otro lado, se generaron 23 impactos severos, cuya magnitud de impacto exige prácticas adecuadas de protección para la recuperación de las condiciones iniciales; finalmente se originaron 18 impactos críticos, cuya magnitud es superior al límite admisible.

- **Impactos sobre el componente físico**

Los factores ambientales que conforman el componente físico de los cantones Quero, Pelileo y Penipe agrupan el mayor número de impactos negativos generados por la acción de ceniza emitida por el volcán Tungurahua, con respecto a los demás componentes analizados. Es así que existe un total de 20 impactos compatibles y 9 moderados cuya recuperación no precisa medidas de protección. Por otra parte, existen 12 impactos severos y 12 críticos los cuales exigen la adopción de medidas de corrección y protección sobre los factores analizados.

Dentro del componente físico, el suelo es el factor ambiental mayoritariamente afectado por la presencia de metales pesados, pues este agrupa mayoritariamente impactos críticos que desencadenan efectos negativos sobre la química, bioquímica y microbiología del suelo, es decir, contaminación, desequilibrio de la composición de materia orgánica y reducción de la diversidad microbiana. Así también el suelo al agrupar dichos metales provoca a su vez impactos negativos sobre plantas y cultivos, pues generan una deficiencia de macronutrientes, reducción de crecimiento y peso seco de biomasa, disminución de fotosíntesis, reducción de producción de cultivos y necrosis en hojas de plantas.

- **Impactos sobre el componente biótico**

Los impactos generados sobre cada uno de los factores ambientales del componente biótico son de carácter negativo, pues este se halla constituido por 14 impactos compatibles y 4 moderados, así como también por 2 impactos severos y 2 críticos. La flora y fauna se han visto afectadas cada una por un impacto crítico negativo cuya magnitud ha sido tal que es necesario la aplicación obligatoria de medidas de corrección y protección, pues la acción de la ceniza volcánica sobre estos factores desencadena impactos negativos relacionados con el sistema digestivo de animales y la baja producción láctea debido a la ingesta de ceniza acumulada sobre el pasto.

- **Impactos sobre el componente socioeconómico**

El componente socioeconómico presenta efectos de carácter negativo, de los cuales 12 pertenecen a impactos compatibles, 7 a moderados, 9 a severos y 4 a críticos. Dentro del mencionado componente, la caída de ceniza volcánica ha afectado la economía local, calidad de vida, salud y cambio del patrón de vida de los habitantes de los cantones Quero, Pelileo y Penipe, es así que se originan impactos críticos relacionados con enfermedades respiratorias, pobreza y migración.

El grado total de afectación sobre el componente socioeconómico es mayoritariamente compatible, lo cual favorece a la pronta recuperación de este componente.

3.4. Resultado del diseño experimental de muestreo

Los resultados que reflejamos a continuación corresponden a 20 puntos de muestreo: 10 corresponden al suelo cultivado (cultivo de papas o maíz) y 10 puntos de suelo sin cultivar (aquel que no ha tenido interferencia antropogénica y en cuya superficie se encuentra bosque virgen o pastizal), no podemos hablar de un suelo completamente virgen debido a que los avances agrícolas y pecuarios han producido de manera directa e indirecta afectación en los suelos y causan impactos tanto positivos como negativos.

Los puntos de muestreo se tomaron en tres cantones afectados por la actividad volcánica así tenemos que: en la provincia de Tungurahua se tomó puntos de control en el cantón Quero en los sectores de Yanayacu y El Empalme, en el cantón Pelileo los sectores de Benítez, Quichibana

Alto, San José de las Queseras, Tungurahuilla y Chacauco; mientras que de la provincia de Chimborazo se tomó del cantón Penipe los sectores de Pungal, Ganzi y Guso.

Tabla 26-3: Identificación de coordenadas de los puntos de muestreo de suelo

Cantón Quero Provincia de Tungurahua					
Sector	Identificación	Coordenadas		Suelo de Cultivo	Suelo sin Cultivar
		X	Y		
Parroquia Yanayacu - Mochapata	1	17M0759972	9837945	Papa	Pajonal
Parroquia El empalme	3	17M0765885	9845740	Papa	Kikuyo
Cantón Pelileo Provincia de Tungurahua					
Parroquia Benítez	6	17M0768260	9852405	Maíz	Kikuyo
Parroquia Quinchibana Alto	8	17M0774485	9849290	Maíz	Kikuyo
Parroquia Cotaló- San José de las Queseras	12	17M0777101	9843520	Maíz	Kikuyo
Parroquia Cotaló - Tungurahuilla	16	17M0778117	9842997	Maíz	Kikuyo
Parroquia Cotaló - Chacauco	18	17M0778285	9841821	Maíz	Kikuyo
Cantón Penipe Provincia de Chimborazo					
Parroquia Pungal	23	17M0779098	9832470	Maíz	Kikuyo
Parroquia Ganzi	24	17M0778226	9831176	Maíz	Kikuyo
Parroquia Guso	25	17M0777143	9830815	Maíz	Kikuyo

Realizado por: Erazo, E.; Morales, V. 2020

3.4.1. *Resultados de pH, conductividad eléctrica (CE), contenido de materia orgánica (MO), densidad y textura*

En la tabla 27-3 se muestran los resultados obtenidos tras llevar a cabo los distintos análisis fisicoquímicos a nivel de laboratorio en muestras de suelo con y sin cultivar, además se observa los grupos en los cuales se observan los parámetros analizados.

Tabla 27-3: Resultados de análisis de pH, conductividad eléctrica, materia orgánica y densidad

Tratamiento	pH				CE ($\mu\text{s}/\text{cm}$)				MO (%)				Densidad (g/cm^3)			
	Cultivado		No Cultivado		Cultivado		No Cultivado		Cultivado		No Cultivado		Cultivado		No cultivado	
1	7,43	de	7,92	g	112,2 3	c	96,53	b	0.71	f	0.6 7	h	0.6 6	a	0.48	a b
3	6,45	b	8,54	h	207,6 6	ef	104,7 0	b	0.28	d e	0.2 8	d	0.6 5	a	0.44	a
6	7,65	e	5,16	a	104,8 3	bc	165,6 3	e	0.24	c d	0.2 5	c	0.6 4	a	0.67	a b
8	6,66	bc	6,61	e	196,6	e	108,5 0	b	0.31	e	0.4 1	f	0.6 6	a	0.71	b
12	6,01	a	6,42	d	128,3 6	d	141,2 3	d	0.30	e	0.3 5	e	0.6 4	a	0.66	a b
16	7,32	d	6,23	c	213,7 3	f	111,6 3	bc	0.29	e	0.5 1	g	0.6 8	a	0.67	a b
18	6,89	c	5,96	b	115,4 6	c	160,2 0	e	0.24	c d	0.1 5	ab	0.7 2	a	0.63	a b
23	6,71	bc	6,38	d	67,53	a	53,96	a	0.18	a b	0.1 7	b	0.5 4	a	0.50	a b
24	6,89	c	6,58	e	97,93	b	100,9 6	b	0.22	b c	0.5 0	g	0.5 4	a	0.49	a b
25	7,52	de	6,77	f	137,3 3	d	123,8 6	c	0.16	a	0.1 3	a	0.5 2	a	0.58	a b
F-	71,56***		1586,83* **		297,18***		90,54***		214,93** *		453,89** *		2,9***		4,16***	

Realizado por: Erazo, E.; Morales, V. 2020

*** Diferencia significativa

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

3.4.1.1. pH

La diferencia de pH en el suelo cultivado no es muy significativa, pues varios puntos coinciden formando subconjuntos iguales, esta similitud se debe a la actividad agropecuaria de la zona, pues los suelos agrícolas se ven afectados por la actividad de la industria textil y la industria láctea (Xu et al. 2020, p.104). El pH en suelos agrícolas se considera óptimo cuando se encuentra dentro de 6 y 8 (considerado neutro) según la normativa nacional vigente en el AM 097-A, en este rango se da una mejor absorción de los nutrientes, es decir, se vuelven fácilmente asimilables por las plantas, esto a la vez genera una producción mayoritaria (Núñez, 2015, p.12). Sin embargo, en pH ácido suele asimilarse algunos microelementos como el zinc, cobre, manganeso, hierro y boro; al contrario del molibdeno que suele ser absorbido por las plantas a pH básicos (Miranda et al. 2011, p.187).

En el suelo no cultivado los resultados relevan que los puntos 6, 18 y 16 tienden a ser más susceptibles a la absorción de minerales como el aluminio y el manganeso, convirtiéndose así en agentes tóxico provocando problemas de retención de macroelementos como el Ca, Mg y P y en cuanto a los micronutrientes a diferencia del Mo son mejor absorbidos, en cambio a pH altos de los puntos 1 y 3 nos indica que los micronutrientes no serán absorbidos por la presencia de compuestos insolubles. (Xu et al. 2020, p.106). Pues se ha demostrado que a pH ácido aumenta la solubilidad de los elementos y por ende los nutrientes e incluido contaminantes como metales pesados, serán asimilados por las plantas. (Mahecha-Pulido, Trujillo-González y Torres-Mora 2015, p. 88).

3.4.1.2. Conductividad eléctrica (CE)

Los puntos con mayor conductividad eléctrica CE tendrán mayor contenido de salinidad y afecta en gran parte al crecimiento de los cultivos ya que se vuelven más propensos a bioacumular fitotoxinas entre ellas metales como zinc, cobre, boro y manganeso (Méndez et al. 2009, p.9), según la normativa legal vigente en el Acuerdo Ministerial 097-A emitido por el MAE en 2015, el valor límite de CE es de $2\text{ds/cm}=200\text{mmho/cm}$, superado este valor se considera un suelo con exceso de salinidad. Por otra parte, los puntos (3 y 16) están fuera del rango deseable y esto puede deberse a la descarga directa de residuos textiles y lácteos que los dos puntos presentan (Núñez, 2015, p.12).

En el caso del suelo no cultivado, la CE no es elevada en ninguno de los puntos de muestreo, por lo que se asume que la salinidad del suelo es baja y no existe incidencia de bioacumulación de metales pesados (Navarro-Aviñó, Alonso y López-Moya, 2007. p.8). Esto puede deberse a la no interacción antropogénica con estos suelos, pues solo se ven afectados por desastres naturales como las erupciones volcánicas que son características de la zona (Cobb et al. 2000, p. 189).

3.4.1.3. Contenido de materia orgánica (MO)

El contenido de materia orgánica en los suelos cultivados es bajo ya que bordean entre 0,16 % y 0,70 %, según la EPA en el 2017, se considera un valor de materia orgánica mayor a 4,5 % para decir que el suelo tiene la capacidad de formar complejos organometálicos (Francis, 2000, p.48). Esto se relaciona con el valor de pH y CE de los resultados anteriores (Huertos y Baena 2008, p. 53), en ninguno de estos puntos se llega a valores que puedan significar un gran contenido de MO para afectar el suelo.

En cuanto al suelo sin cultivar los valores oscilan entre 0,12% y 0,66% lo cual demuestra un contenido bajo; valores que no evidencian peligro de toxicidad, ya que su contenido bajo de MO evita la formación de quelatos estables y por ende que los metales pesados sean fácilmente disueltos y se dispersen, aumentando la capacidad de absorción del agua y de oligoelementos absorbidos por las plantas (Mahecha-Pulido, Trujillo-González y Torres-Mora 2015, p.92).

3.4.1.4. Densidad

La densidad aparente de los suelos sin cultivar analizados se encontró dentro de los valores de 0.4367 y 0.7067 g/cm³ a diferencia de los suelos cultivados los cuales registraron una densidad entre 0.6400 y 0.7167 g/cm³. La densidad que presentan los suelos es notablemente baja en contraste con los resultados obtenidos por Zúñiga, Buenaño y Risco (2018), donde la densidad de los suelos agrícolas aledaños al volcán Tungurahua presentaron valores superiores a los examinados, debido a la elevada porosidad de las muestras dada por un equilibrio alto de los agregados del suelo en andisoles.

Los valores obtenidos de densidad son propios de suelos andisoles, pues se caracterizan por presentar una densidad aparente menor o igual a 0.9 g/cm³ debido a su uso agrícola (Zúñiga, Buenaño y Risco, 2018, pp.3-4). La diferencia que existe entre los valores de las dos clases de muestras analizadas en base a este parámetro se debe a su vez a que los suelos sin cultivar al no ser labrados presentan una densidad menor que los suelos cultivados, los cuales continuamente se someten a procesos de labranza (Zúñiga, Buenaño y Risco, 2018, p.3)

3.4.1.5. Textura

Tabla 28-3: Resultados de textura de suelo no cultivables suelos cultivables

Suelos no cultivables		Suelos cultivables	
Muestra	Textura	Muestra	Textura
SV-01	Arenoso franco	SC-01	Franco arenoso
SV-03	Arenoso franco	SC-03	Arenoso franco
SV-06	Arenoso franco	SC-06	Franco arenoso
SV-08	Arenoso franco	SC-08	Arenoso franco
SV-12	Arenoso franco	SC-12	Arenoso franco

SV-16	Franco arenoso	SC-16	Arenoso franco
SV-18	Franco arenoso	SC-18	Franco arenoso
SV-23	Arenoso franco	SC-23	Arenoso franco
SV-24	Arenoso franco	SC-24	Arenoso franco
SV-25	Arenoso franco	SC-25	Arena

Realizado por: Erazo, E.; Morales, V. 2020

Los suelos dominantes que afloran en las muestras analizadas presentan una fracción granulométrica que varía de arenoso, arenoso franco y franco arenoso. Estas clases texturales se deben a la ubicación geográfica de los suelos, pues al encontrarse en el centro de la depresión interandina se hallan recubiertos por productos volcánicos originados por volcanes secundarios como el Tungurahua, estos suelos cercanos a dicho volcán muestran características de andisoles pues son derivados de cenizas volcánicas, que se caracterizan por poseer una textura franco arenosa, la cual está formada por depósitos de arena y limo con una baja concentración de arcilla (Zúñiga, Buenaño y Risco, 2018, pp.3-4).

La fracción granulométrica encontrada se debe a que la ceniza emitida presenta una textura que va de arenoso a arenoso franco, la cual ha cubierto un diámetro de alrededor de 280 kilómetros de suelo (Bustillos A. y col. 2017, p.3). Es por ello que en las zonas cercanas al volcán Tungurahua se hallan mayores cantidades de partículas gruesas propias de la arena, ya que las partículas más finas viajan a mayores distancias por acción del viento (Zúñiga, Buenaño y Risco, 2018, p.3).

3.4.1.6. Análisis de metales pesados Cr, Ni, Cd y Pb por absorción atómica

Tabla 29-3: Concentraciones de cromo, níquel, cadmio y plomo

Suelos no cultivables					Suelos cultivables				
Muestra	Cr Total (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Muestra	Cr Total (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)
SV-01	12.00	12.44	0.00	0.00	SC-01	0.00	18.59	1.21	21.21
SV-03	5.50	17.33	0.00	0.00	SC-03	0.00	17.61	1.21	16.45
SV-06	7.50	17.06	1.41	22.78	SC-06	4.30	14.44	1.31	22.55
SV-08	12.60	17.07	1.31	21.57	SC-08	0.00	21.09	1.51	22.12

SV-12	9.00	16.72	1.11	15.66	SC-12	0.00	15.91	0.00	0.00
SV-16	3.50	19.04	0.91	6.90	SC-16	0.00	8.56	0.71	9.09
SV-18	0.00	20.31	0.91	9.48	SC-18	2.00	13.78	0.71	9.45
SV-23	37.10	18.41	1.01	4.80	SC-23	0.00	11.75	0.00	0.00
SV-24	37.60	18.11	1.21	8.09	SC-24	1.60	14.01	0.00	0.00
SV-25	35.60	19.14	1.21	10.14	SC-25	3.80	16.82	0.00	0.00

Realizado por: Erazo, E.; Morales, V. 2020

Cromo

Las muestras de suelo analizadas se hallan por debajo del límite analítico de detección de cromo dispuesto tanto por el Acuerdo Ministerial 097 y por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos, los cuales mencionan un valor de fondo de 54 mg/kg (peso seco) como criterio de evaluación de contaminación del suelo.

Los valores de cromo obtenidos son considerablemente menores con respecto a los investigados en otros estudios, donde se reportan concentraciones de cromo en muestras de cenizas del volcán Tungurahua de 103.1 mg/kg (Narváez, 2014, p.139) y de 117 mg/kg (Hall y col, 1999, p.6). Dado que el grado de acidez de las muestras examinadas son bajos y tienden acercarse a la neutralidad, la movilidad del cromo se reduce, de tal forma que se origina una sorción rápida de este metal que implica principalmente un equilibrio de hidrólisis que conlleva a la pronta formación de un precipitado en forma de $\text{Cr}(\text{OH})_3$, la formación de dicho precipitado provoca que la concentración de este elemento en el suelo como tal se reduzca con respecto a los valores altos hallados en la ceniza. Por tanto, el pH que posee cada muestra de suelo contribuye a que la biodisponibilidad y rango de expansión del cromo no se alto, particularmente en la etapa temprana de la contaminación por este elemento (Xu et al. 2020, pp.2-5).

Níquel

Los límites regulatorios establecidos por la EPA (Francis, 2000, p.54), sobre níquel aplicado en el suelo, indican que no se presenta contaminación en las muestras de suelos analizadas por causa de este metal, pues no exceden la concentración de 30 mg/kg; a diferencia de lo expuesto por el Acuerdo Ministerial 097 (Núñez, 2015, pp.11-12), donde la capacidad de amortiguación para este metal es de 19 mg/kg, por lo que el análisis de la concentración de níquel indica que existe contaminación en las muestras de suelos no cultivables recolectadas de los sectores de

Tunguraguila, Chacauco y Guso de Penipe; así como también en la muestra del sector de Quinchibana alto recogida a partir de un suelo cultivable.

Las concentraciones altas reportadas de níquel se deben en parte por la composición mineralógica de la ceniza del volcán Tungurahua, pues se halla ensamblada por olivino (2-9%) y magnetita (1-2%) (Bustillos A. y col., 2017, p.16-19), minerales propios de rocas ígneas que se caracterizan por la presencia de metales constituyentes como el níquel (García y Moreno, 2002, p.5). Estudios realizados por (Narváez, 2014, pp.139-140), sobre la composición geoquímica de productos del volcán Tungurahua, revelaron que muestras de ceniza recolectadas desde el año 2010 al 2013, presentaron concentraciones de níquel que variaron de 42.1 a 52.3 mg/kg; asimismo, resultados obtenidos por (Hall y col, 1999, p.6), sobre la estructura del volcán Tungurahua, mostraron que aquellas rocas involucradas en avalanchas se hallan constituidas principalmente por lavas andesíticas que poseen una concentración de níquel de 47 mg/kg, dicho valor puede relacionarse con la composición de la ceniza, pues está vinculada directamente con la química del magma que la origino (Sánchez, Mejía y Vizcaíno, 2018, p.4). De ahí el hecho que exista una mayor concentración de este metal en muestras de suelos no cultivables que en aquellas de suelos cultivables analizados.

Por otro lado, la calidad del suelo cultivado de Quinchibana alto, puede a su vez verse afectada por las actividades agrícolas desarrolladas en esta zona, pues este metal se encuentra vinculado con compost derivado de residuos sólidos convencionales (Mahecha-Pulido, Trujillo-González y Torres-Mora, 2015, p.2).

El hecho de que las demás muestras analizadas no sobrepasen la concentración de 19 mg/kg, se debe a que poseen un pH superior a 5.5, dicho valor genera que no exista una fácil movilidad de níquel y que el grado de contaminación y biodisponibilidad de este metal se reduzca significativamente en el ecosistema (García y Moreno, 2002, p.7). Ya que el níquel posee poca movilidad, su biodisponibilidad puede reducirse a su vez debido a que es fácilmente adsorbido y móvil en plantas, de tal forma que puede llegar a acumularse principalmente en hojas y semillas (Méndez et al. 2009, pp. 8-9).

Cadmio

La mayor parte de las concentraciones de cadmio estudiadas en suelos no cultivados y suelos cultivados, sobrepasan los valores límites establecidos por la EPA de 0.35 mg/kg (Francis, 2000, p.54) y por Acuerdo Ministerial 097 de 0.5 mg/kg (Núñez, 2015, pp.11-12), estos valores se deben en parte a la composición química de la ceniza del volcán Tungurahua, pues al interactuar con el suelo, se genera una biodisponibilidad de este elemento, según lo corrobora (Romero, 2017, p.35),

tras analizar que muestras de suelos influenciados por ceniza del mismo volcán presentaban concentraciones de cadmio, pero que las mismas no superaban los criterios establecidos de calidad del suelo manifestados por el Acuerdo Ministerial 097; por lo que la distribución de este metal puede deberse a su vez al aporte de otras actividades desarrolladas dentro de las zonas investigadas.

Considerando que en Ecuador aproximadamente el 45% de las personas viven en la región sierra y gran parte de esta población se dedica a la agricultura (Zúñiga, Buenaño y Risco, 2018, p.2), se atribuye que la presencia de cadmio se debe en gran parte a dicha actividad, pues los suelos estudiados al proceder de cenizas volcánicas tienden a inmovilizar fósforo, provocando la limitación de este elemento y conllevando a los agricultores de estas zonas a añadir grandes cantidades de abono fosforado a fin de suplir la deficiencia generada (Zúñiga, Buenaño y Risco, 2018, p.4), el fertilizar con fósforo genera que el suelo se enriquezca de apatita, la cual además de fósforo posee cadmio en concentraciones de 8 y 500 mg/kg (Mahecha-Pulido, Trujillo-González y Torres-Mora, 2015, p.2).

La presencia de cadmio coincide además con el hecho de que este metal es moderadamente móvil en suelos que poseen un pH entre 5.5 y 9.5 (García y Moreno, 2002, p.7), este efecto concuerda con el pH de las muestras analizadas, ya que se hallan dentro de los valores descritos. Además, dado que el contenido de materia orgánica es bajo contribuye con la movilidad del cadmio a través de los horizontes del suelo y con el incremento de su biodisponibilidad en el ambiente (Rieumont y col., 2013, p.5). Puesto que este elemento es uno de los más solubles por causa de su movilidad, tiende a acumularse en mayor cantidad en los primeros 15 centímetros del suelo, generando así un potencial tóxico para aquellos cultivos de porte bajo que cuentan con un sistema de raíces superficiales, como es el caso de los cultivos de papa (Miranda et al. 2011, p.9).

Plomo

La concentración de fondo establecida para plomo según la EPA es de 50 mg/kg, reporta que las muestras de suelos analizadas no superan este valor (Francis, 2000, p.54); en contraste con lo dispuesto por el Acuerdo Ministerial 097, donde el nivel de plomo encontrado en las muestras de suelo de Pelileo-Benítez, Quinchibana y Yanayacu-Mochapata, superan el valor comúnmente aceptado para una calidad adecuada de suelo (19 mg/kg) (Núñez, 2015, pp.11-12).

Los valores hallados en las muestras de suelo son considerablemente mayores con respecto a las concentraciones reportadas en un estudio realizado por (Romero, 2017, p.35), en donde los niveles de plomo en muestras de suelo afectadas por la ceniza del volcán Tungurahua se hallan dentro de los límites permisibles establecidos por el Acuerdo Ministerial 097; por lo tanto, el comportamiento

de este elemento no puede atribuirse únicamente con la caída de ceniza volcánica, sino también con la principal actividad productiva de estos sectores como lo es la agricultura, pues el aumento de zonas cultivables próximas al volcán Tungurahua pueden inducir a cambios en las propiedades químicas del suelo (Zúñiga, Buenaño y Risco, 2018, p.2); es así que se ha evidenciado que el uso de maquinaria agrícola que conlleva esta actividad propicia la concentración de plomo (Bravo y col. 2017, p.5). Además, de que dicho metal se encuentra ampliamente relacionado con el uso de fertilizantes y agroquímicos como el superfosfato y la urea (Mahecha-Pulido, Trujillo-González y Torres-Mora, 2015, p.4). Por otra parte, las muestras contaminadas con plomo poseen también cadmio, esto debido a la analogía entre sus propiedades y características metálicas (Méndez y col. 2009, p.4).

El hecho de que las demás muestras analizadas no posean altas concentraciones de plomo se debe a que este metal presente en suelos contaminados puede llegar a inhibirse, debido a la aplicación de óxidos de magnesio y fósforo, no obstante, el uso de estos métodos perturba la biodisponibilidad del zinc o de otros metales esenciales (Méndez y col. 2009, p.5). Asimismo, este elemento en el suelo es capaz de precipitar como carbonato, hidróxido o fosfato; inclusive logra formar complejos orgánicos estables que permiten disminuir la solubilidad de este elemento (Rieumont y col. 2013, p.7). Por otro lado, en suelos donde se ha añadido intencionalmente concentraciones de plomo y posteriormente se ha cosechado, se ha evidenciado que la concentración inicial disminuye en los suelos, lo que pone de manifiesto la capacidad de absorción de las plantas (Méndez y col. 2009, p.4), pese a que la traslocación de plomo a otras partes de la planta es limitada, pues la mayor acumulación se genera en las raíces de las mismas (Rieumont y col. 2013, p.8).

CONCLUSIONES

- Se levanto un diagnostico línea base a través de la utilización de los planes de desarrollo y ordenamiento territorial de los cantones: Santiago de Quero, San Pedro de Pelileo y Penipe, de los cuales se recolecto información de carácter ambiental, social y económico, para así llegar a conocer el escenario actual que afronta cada cantón con respecto a los aspectos e impactos ambientales relacionados con la actividad eruptiva del volcán Tungurahua tras su reactivación desde del año 1999 hasta el año 2016.
- Se analizó la concentración de cromo, níquel, cadmio y plomo en muestras de suelo intervenidas por la caída de ceniza del volcán Tungurahua; según la EPA los valores de Cr, Ni y Pb se encuentran por debajo de los límites permisibles, a diferencia de lo dispuesto por el Acuerdo Ministerial 097 en donde señala que el Ni y Pb se hallan por encima del nivel de fondo establecido por los criterios de calidad de suelo. Sin embargo, ambas normativas concuerdan que el Cd esta fuera del límite permisibles por lo cual se evidencia una contaminación del suelo por este metal. Es por ello que la calidad de los suelos analizados puede verse afectada por otras actividades relacionadas particularmente con la agricultura y la aplicación de insumos químicos para mejoramiento de cultivos que se desarrollan ampliamente dentro de los cantones estudiados y no específicamente por la caída de ceniza volcánica.
- Se identificaron un total de 107 impactos de carácter negativo generados por acción de la caída de ceniza del volcán Tungurahua sobre los componentes físicos, biológicos y socioeconómicos que poseen los cantones Quero, Pelileo y Penipe, es así que del total de las interacciones obtenidas 18 se hallaron netamente vinculadas con la presencia de metales pesados en el suelo, siendo así el recurso ambiental más afectado por la caída de ceniza volcánica, ya que se desencadenan impactos negativos sobre la química, bioquímica y microbiología del suelo así como también en plantas y cultivos de las zonas estudiadas.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar varias visitas técnicas antes de establecer los puntos de muestreo, esto permitirá conocer con exactitud el área de estudio y las interacciones que existan, para minimizar errores y tomar puntos que acojan la cobertura total de estudio.
- Se recomienda socializar las encuestas de manera comprensible y usando palabras comunes, evitando las palabras técnicas que pueden llegar a ser desconocida o a darse una equívoca comprensión de su significado, esto con el fin de recaudar información más real del panorama de estudio.
- Se continúen con las investigaciones en la zona de estudio a través de la recolección de muestras de plantas que pertenezcan a cada uno de los puntos analizados a fin de que sean sometidas a análisis de metales pesados para identificar la existencia de interacción entre suelo-planta.

GLOSARIO

Andisoles: Los Andisoles son suelos desarrollados sobre materiales piroclásticos depositados por erupciones volcánicas cuya principal característica es la variedad de material parental debido a la naturaleza de los materiales expulsados en las erupciones. El origen de estos suelos se debe al rápido enfriamiento de los materiales expulsados, que no permite la cristalización de los minerales con un alto grado de ordenación, resultando así un material vítreo amorfo. (Moreno, 2014, p.3)

Contaminación: La contaminación es la introducción de agentes biológicos, químicos o físicos a un medio al que no pertenecen. Cualquier modificación indeseable de la composición natural de un medio; por ejemplo, agua, aire o alimentos. (Peñaloza, 2012, p.1)

Degradación de suelos: Reducción o pérdida de la productividad biológica o económica y la complejidad de las tierras agrícolas de secano, las tierras de cultivo de regadío, los pastizales, los bosques y las tierras arboladas. (Jaramillo, 2002, p.74)

Fitorremediación: La fitorremediación es un conjunto de tecnologías que reducen in situ o ex situ la concentración de diversos compuestos a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a ellas, es decir utiliza las plantas para remover, reducir, transformar, mineralizar, degradar, volatilizar o estabilizar contaminante. (Delgadillo et al, 2011: p.2)

Macronutrientes: Los macronutrientes son nutrientes que se consumen en cantidades relativamente grandes, como las proteínas, los hidratos de carbono simples y complejos, y las grasas y ácidos grasos. (OMS, 2015)

Micronutrientes: Los micronutrientes (también llamados oligonutrientes) son las vitaminas y los minerales, que se consumen en cantidades relativamente menores, pero que son imprescindibles para las funciones orgánicas. (OMS, 2015)

BIBLIOGRAFÍA

ARMIJOS, M.; et al. "Adapting to changes in volcanic behaviour: Formal and informal interactions for enhanced risk management at Tungurahua Volcano, Ecuador". *Global Environmental Change*, vol. 45 (2017), pp. 217-226

AYRIS, P.; & DELMELLE, P. "The immediate environmental effects of tephra emission". *Bulletin of Volcanology*, vol. 74, no. 9 (2012), pp. 1905-1936.

BRAVO, S.; et al. "Influence of the soil pH in the uptake and bioaccumulation of heavy metals (Fe, Zn, Cu, Pb and Mn) and other elements (Ca, K, Al, Sr and Ba) in vine leaves, Castilla-La Mancha (Spain)". *Journal of Geochemical Exploration*, vol. 174 (2017), pp. 79-83.

BOTELLO, G.; et al. *Contenido de hierro y zinc en variedades y clones mejorados de papas (Solanum tuberosum L.)* [en línea]. Bolivia: 2014. [Consulta: 6 abril 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/262525113_Comunicacion_corta_CONTENTIDO_DE_HIERRO_Y_ZINC_EN_VARIEDADES_Y_CLONES_MEJORADOS_DE_PAPAS_Solanum_tuberosum_L_DE_BOLIVIA.

BUSTILLOS, J.; et al. "Tephra fallout from the long-lasting Tungurahua eruptive cycle (1999-2014): Variations through eruptive style transition and deposition processes". *Andean Geology*, vol. 45, no. 1 (2017), pp. 47.

CHAPARRO, A.; et al. "Desarrollo y validación de un método ambientalmente amigable para determinación de metales pesados en pastos". *Revista de Ciencias Agrícolas*, vol. 33, no. 2 (2016), pp. 13

COBB, G.; et al. "Accumulation of heavy metals by vegetables grown in mine wastes". *Environmental Toxicology and Chemistry*, vol. 19, no. 3 (2000), pp. 600-607.

CONSTITUCION DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR [en línea]. Ecuador: 2008. [Consulta: 8 abril 2020]. Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/09/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador.pdf>.

DELGADILLO, A.; et al. "Fitorremediación una alternativa para eliminar la contaminación". *Tropical and subtropical agroecosystems* [en línea], 2011, (México) vol.14 (no.2), p.2 [Consulta: 9 marzo 2020].ISSN 1870-0462. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-04622011000200002#:text=La%20fitorremediaci%C3%B3n%20es%20un%20conjunto,y%20microorganismos%20asociados%20a%20ellas.

ENGWELL, S.; & EYCHENNE. " Contribution of Fine Ash to the Atmosphere From Plumes Associated With Pyroclastic Density Currents". *Volcanic Ash*, vol. 2 (2016) pp. 67-85.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Toxicity and Bioassessment Test Methods for Ecological Risk Assessment* [en línea], España: 2011. [Consulta: 15 mayo 2020]. Disponible en: <https://maetungurahua.files.wordpress.com/2015/09/es-i-a-ceticuero.pdf>.

FEE, D.; et al." Infrasound from Tungurahua Volcano 2006–2008: Strombolian to Plinian eruptive activity". *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 193, no. 1-2 (2010), pp. 67-81.

FEW, R.; et al. "Living with Volcan Tungurahua: The dynamics of vulnerability during prolonged volcanic activity". *Geoforum*, vol. 80, (2017), pp. 72-81.

FRANCIS, M. *Background Report on Fertilizer Use, Contaminants and Regulators*, 2000, S.l.: DIANE Publishing. ISBN 978-0-7567-0066-9.

GADM. *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Penipe diagnóstico asentamientos humanos y red nacional de asentamientos humanos* [en línea], Ecuador: 2014. [Consulta: 6 abril 2020]. Disponible en: <https://penipe.gob.ec/images/il/ComponenteTerritorial/ComponenteAsentamientosHumanos.pdf>

GAD PELILEO. *Plan de Ordenamiento Territorial del Cantón Pelileo* [en línea], Ecuador: 2015. [Consulta: 23 abril 2020]. Disponible en: <https://studylib.es/doc/8805743/pdot-plan-de-ordenamiento-territorial-del-canton-pelileo>.

GAD-QUERO. *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Santiago de Quero Provincia de Tungurahua* [en línea], Ecuador: 2014. [Consulta: 23 abril 2020]. Disponible en: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/1860000800001_PDYOT%20QUERO%20CONSOLIDADO_19-04-2015_20-19-44.pdf

GALÁN, E.; & ROMERO, A. "Contaminación de Suelos por metales pesados". *Sociedad Española de Mineralogía Review*, vol. 10 (2008), pp. 48-60.

GARCÍA, C.; & MORENO, J. *Metales pesados y sus implicaciones en la calidad del suelo*, 2002, p. 14.

GARCIA, I.; et al. "Mobility of Arsenic and Heavy Metals in a Sandy-Loam Textured and Carbonated Soil". *Pedosphere*, vol. 19, no. 2 (2009), pp. 166-175.

GUPTA, I.; et al. *Standard Methods for Analysis of Soil Plant and Water* [en línea], India: 2012, [Consulta: 23 abril 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/282757570_Standard_Methods_for_Analysis_of_Soil_Plant_and_Water

HALL, M.; et al. "Tungurahua Volcano, Ecuador: structure, eruptive history and hazards". *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 91, no. 1 (1999), pp. 1-21.

HONG, S.; et al. "Environmental controls on soil pH in planted forest and its response to nitrogen deposition". *Environmental Research*, vol. 172 (2019), pp. 159-165.

HUERTA, E. "Acumulación de arsénico y metales pesados en maíz en suelos cercanos a jales o residuos mineros". *Revista internacional de contaminación ambiental* [en línea], 2012, (Chile)

vol. 28, (no.2), pp. 103-117. [Consulta: 23 junio 2019]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.phpscript=sci_arttext&pid=S0188-499920000201 HUERTOS, E. G. y BAENA, A.R. Contaminación de Suelos por Metales Pesados. , vol. 553, no. 3 (2008), pp. 48-60. ISSN 1885-7264.

INSTITUTO GEOFÍSICO ECUADOR. *Erupción de febrero-marzo 2016 del volcán Tungurahua - Instituto Geofísico* [en línea], Ecuador: 2016, [Consulta: 23 junio 2019]. Disponible en: <https://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/1463-erupcion-de-febrero-marzo-2016-del-volcan-tungurahua>

JARAMILLO, D. *Introducción a la ciencia del suelo* [en línea]. Colombia: 2002. [Consulta: 25 enero 2020]. Disponible en: <http://sistemaagricola.com.mx/blog/materia-organica-la-actividad-biologica/>

JR, W.; & VERLOO, M. "Distribution of soluble heavy metals between ionic and complexed forms in a saturated sediment as affected by pH and redox conditions". *Environment International* , vol. 37, no. 7 (2008), pp. 165-172.

KESHAVARZIFARD, M.; et al. "The influence of physicochemical parameters on bioavailability and bioaccessibility of heavy metals in sediments of the intertidal zone of Asaluyeh region, Persian Gulf, Iran". *Geochemistry*, vol. 79, no. 1 (2019), pp. 178-187.

LE PENNEC, J. *Los peligros volcánicos asociados con el Tungurahua* [en línea]. Ecuador:2015. . [Consulta: 6 marzo 2020]. Disponible en : <https://www.igepn.edu.ec/publicaciones-para-la-comunidad/comunidad-espanol/24-los-peligros-volcanicos-asociados-con-el-tungurahua>

LE PENNEC, J.; et al. " Impact of tephra falls on Andean communities: The influences of eruption size and weather conditions during the 1999–2001 activity of Tungurahua volcano, Ecuador". *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 217-218 (2012), pp. 91-103.

LI, Y.; & ZHANG, Q. " Trade-off between soil pH, bulk density and other soil physical properties under global no-tillage agriculture". *Geoderma*, vol. 361 (2020), p. 114.

MINISTERIO DEL AMBIENTE. *Efectos y consecuencias de las erupciones volcánicas* [en línea], Ecuador: 2016, [Consulta: 6 abril 2020]. Disponible en: https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/03/ECOCIENCIA_VOL_2.pdf

MAHECHA, D.; et al. "Contenido de metales pesados en suelos agrícolas de la región del Ariari, Departamento del Meta". *Orinoquia*, vol. 19, no. 1 (2015), pp. 118-120.

MARTÍN, M. *Análisis de contaminantes metálicos y minerales en plantas medicinales: Evaluación del riesgo para la salud humana.* [en línea], 2017, [Consulta: 6 abril 2020]. Disponible en: <https://digibug.ugr.es/handle/10481/47435>.

MÉNDEZ, J.; et al. "Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua". *Ambiente* [en línea], 2009, (Ecuador) vol.8 (no.3). p.34 [Consulta: 8 abril 2020]. Disponible: <https://www.redalyc.org/pdf/939/93911243003.pdf>

MINISTERIO DE LA PRESIDENCIA. *Real Decreto por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados* [en línea], Ecuador: 2015, [Consulta: 6 abril 2020]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/pdf/2005/BOE-A-2005-895-consolidado.pdf>

MIRANDA, D.; et al. "Acumulación de metales pesados en suelo y plantas de cuatro cultivos hortícolas, regados con agua del río Bogotá". *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, vol. 2, no. 2 (2011), pp. 180-191.

MOLDOVAN, M. *Atomic Absorption Spectrometry—Flame. Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering* [en línea], 2018. [Consulta: 6 abril 2020]. ISBN 978-0-12-409547-2. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780124095472000226>.

MORENO, H. *Andisoles* [en línea], Valencia: 2018. [Consulta: 6 abril 2020]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/13676/Andisoles.pdf?sequence=3>

MULLER et al. "Temporal evolution of the magmatic system at Tungurahua Volcano, Ecuador, detected by geodetic observations". *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 368 (2018), pp. 63-72.

NARVAEZ, D. *Caracterización de los dinamismos eruptivos de los períodos de actividad de marzo y julio 2013 del volcán Tungurahua, con base en el estudio morfo-granulométrico, geoquímico y modal de los productos de caída.* [en línea], Perú: 2014. [Consulta: 25 junio 2020]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/8638>.

NAVARRO, J.; et al. "Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas". *Revista Ecosistema* vol. 16, no. 2 (2007), p. 16.

NEUBERG, J.; et al. "Understanding cyclic seismicity and ground deformation patterns at volcanoes: Intriguing lessons from Tungurahua volcano, Ecuador". *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 482 (2018), pp. 193-200.

NÚÑEZ, L. Reforma Libro VI del TULSMA. Ecuador , Edición Especial N° 387 - Registro Oficial, 2015, p. 15.

OMS. *Macronutrientes y micronutrientes* [en línea]. España: 2015. [Consulta: 9 junio 2020]. Disponible en: <https://www.who.int/elena/nutrient/es/>

PARRA, R.; et al. "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*, vol. 309 (2016), pp. 1-13.

PAZ, J.; et al. "Soil texture effects on multifractal behaviour of nitrogen adsorption and desorption isotherms". *Biosystems Engineering*, vol. 168 (2018), pp. 121-132.

PEÑALOZA, J. *Desarrollo local sostenible* [en línea]. España: 2015. [Consulta: 9 agosto 2020]. Disponible en: <https://www.eumed.net/rev/delos/13/japp.html>

PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL PENIPE [en línea]. Ecuador: 2015. [Consulta: 15 mayo 2020]. Disponible en: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/0660000950001_PLAN%20DE%20DESARROLLO%20Y%20ORDENAMIENTO%20TERRITORIAL%20PENIPE_20-02-2015_23-14-44.pdf.

PODWOJEWSKI, P.; et al. "Effects of agricultural practices on the hydrodynamics of a deep tilled hardened volcanic ash–soil (Cangahua) in Ecuador". *Catena*, vol. 72, no. 1 (2008), pp. 179-190.

REYES, Y.; et al. "Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria". *Ingeniería Investigación y Desarrollo*, vol. 16, no. 2 (2016), p. 12.

RIEUMONT, S.; et al. "Niveles de cadmio, plomo, cobre y zinc en hortalizas cultivadas en una zona altamente urbanizada de la ciudad de la Habana, Cuba". *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* [en línea], vol. 29, no. 4 (2013), pp. 285-294. [Consulta: 23 junio 2019]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992013000400006

ROMERO, C. Determinación de cadmio y plomo por espectroscopía de absorción atómica con horno de grafito en pastos del cantón Quero afectados por las cenizas del volcán Tungurahua (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Técnica de Ambato - Ecuador 2017. pp. 1-66.

ROMERO, J.; et al. "Dynamics and style transition of a moderate, Vulcanian-driven eruption at Tungurahua (Ecuador) in February 2014: pyroclastic deposits and hazard considerations". *Solid Earth*, vol. 8, no. 3 (2017), pp. 697-719.

ROMIC, M; & ROMIC, D. "Heavy metals distribution in agricultural topsoils in urban area". *Environmental Geology*, vol. 43, no. 7 (2003), pp. 795-805.

SAMANIEGO, P.; et al. "Petrological analysis of the pre-eruptive magmatic process prior to the 2006 explosive eruptions at Tungurahua volcano (Ecuador)". *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 199, no. 1-2 (2011), pp. 69-84.

SÁNCHEZ, E. Análisis mineralógico y multielemental de la ceniza volcánica, producto de la erupción del cotopaxi en 2015, por difracción de rayos x (xrd) y espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (icp-ms) y sus posibles aplicaciones e impactos (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Católica del Ecuador, 2018, pp. 17.

SHRIVAS, K.; & JAISWAL, N. "Dispersive liquid-liquid microextraction for the determination of copper in cereals and vegetable food samples using flame atomic absorption spectrometry". *Food Chemistry*, vol. 141, no. 3 (2013), pp. 2263-2268.

SOYLAK, M.; et al. "Optimization of microwave assisted digestion procedure for the determination of zinc, copper and nickel in tea samples employing flame atomic absorption spectrometry". *Journal of Hazardous Materials*, vol. 149, no. 2 (2007), pp. 264-268.

STEFFKE, A.; et al. "Eruption chronologies, plume heights and eruption styles at Tungurahua Volcano: Integrating remote sensing techniques and infrasound". *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 193, no. 3 (2010), pp. 143-160.

TCHOUNWOU, P.; et al. *Heavy Metal Toxicity and the Environment*. [en línea], Reino Unido :2012. [Consulta: 6 abril 2020]. Disponible en: http://link.springer.com/10.1007/978-3-7643-8340-4_6.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Enforcement Discretion Guidance Regarding Statutory Criteria for Those Who May Qualify as CERCLA Bona Fide Prospective Purchasers, Contiguous Property Owners, or Innocent Landowners*, [en línea], Washington 2019. [Consulta: 10 abril 2020]. Disponible en: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2019-08/documents/common-elements-guide-mem-2019.pdf>

WOLF, M.; et al. "Copper/Zinc Bioaccumulation and the Effect of Phytotoxicity on the Growth of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) in Non-contaminated, Metal-Contaminated and Swine Manure-Enriched Soils". *Water, Air, & Soil Pollution*, vol. 228, no. 4 (2017), p. 152.

XU, T.; et al. "Effect of soil pH on the transport, fractionation, and oxidation of chromium (III)". *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 195 (2020), p. 1104

YADAV, S.; et al. "Bioaccumulation and phyto-translocation of arsenic, chromium and zinc by *Jatropha curcas* L.: Impact of dairy sludge and biofertilizer". *Bioresource Technology*, vol. 100, no. 20 (2009), pp. 4616-4622.

ZENG, F.; et al. "The influence of pH and organic matter content in paddy soil on heavy metal availability and their uptake by rice plants". *Environmental Pollution*, vol. 159, no. 1 (2011), pp. 84-91.

ZÚÑIGA, F.; et al. "Caracterización física y química de suelos de origen volcánico con actividad agrícola, próximos al volcán Tungurahua". *Revista Ecuatoriana de Investigaciones Agropecuaria*, vol. 1, no. 1 (2018), p. 5.

ZWOLAK, A.; et al. "Sources of Soil Pollution by Heavy Metals and Their Accumulation in Vegetables: a Review". *Water, Air, & Soil Pollution*, vol. 230, no. 7 (2019), p. 164.



Firmado electrónicamente por:
**JHONATAN RODRIGO
PARREÑO UQUILLAS**

ANEXOS

ANEXO A. ENCUESTA PLANTEADA A LOS MORADORES ALEDAÑOS AL VOLCÁN TUNGURAHUA

ENCUESTA PILOTO APLICADA A POBLACIONES CERCANAS AL VOLCÁN TUNGURAHUA

La presente encuesta forma parte del desarrollo de tesis denominada: Evaluación de incidencia de la ceniza del volcán Tungurahua y su impacto ambiental en suelos agrícolas de las provincias de Tungurahua y Chimborazo; previo a la obtención del título de Ingeniero en Biotecnología Ambiental.

INSTRUCCIONES GENERALES:

- Esta encuesta es confidencial y su información será empleada únicamente con fines académicos.
- Por favor lea las preguntas al inicio de cada sección y marque con una X dentro de los casilleros la respuesta según su criterio.

SECCIÓN 1: DATOS PERSONALES

EDAD:

20-30 31-40 41-50 51-60 61-70 +71

GENERO:

Masculino Femenino

OCUPACIÓN:

Agricultor Ganadero Comerciante Oficios del Hogar Otros

¿Cuál? _____

SECCIÓN 2: DESARROLLO

1. Motivos para vivir en la zona

Trabajo Familia Gusto Otro

¿Cuál? _____

2. ¿Tiempo en que vive en la zona?

De 1 a 10 años De 10 a 20 años De 20 a 30 años Más de 30 años

3. **¿Cuál considera usted que es una de las mayores amenazas naturales de su zona?**

Erupciones volcánicas

Sismos

Deslizamientos de tierra

Aluviones

4. **¿Considera usted que vive en una zona de peligro volcánico?**

Si

No

5. **¿Debido al proceso eruptivo del volcán Tungurahua, qué producto volcánico considera usted que ha causado mayor afectación a la zona donde reside?**

Flujo de lava

Flujo piroclástico

Emanación de gases

Ceniza volcánica

Otro

¿Cuál? _____

6. **¿Usted cree que existan riesgos para la salud de las personas, habitar en sectores cercanos propensos a lidiar con la actividad eruptiva del volcán Tungurahua?**

Si

No

7. **¿Considera que la ceniza volcánica emitida por el volcán Tungurahua puede afectar la calidad del suelo?**

Si

No

8. **¿Qué rango de afectación piensa usted que la ceniza volcánica puede provocar en la calidad del suelo donde reside?**

Muy alta

Alta

Moderada

Ligera

9. **¿Considera usted que la incorporación de ceniza volcánica proveniente del volcán Tungurahua a suelos agrícolas de su sector contribuye con la incorporación de nutrientes y mejoramiento de la textura del mismo?**

Si

No

10. **Tras la incorporación de ceniza volcánica a suelos agrícolas de su zona, ésta fue removida de los mismos de forma:**

Total

Parcial

Nula

11. ¿Tras el proceso eruptivo del volcán Tungurahua, ha observado usted cambios en el tipo de cultivo de su zona por otros menos susceptibles al material volcánico?

Si No

En el caso de ser positiva su respuesta, ¿cuál es el nuevo cultivo menos susceptibles al material volcánico cultivado en su zona? _____

12. ¿Considera usted que una vez finalizado el proceso eruptivo del volcán Tungurahua, las cosechas de la zona se han vuelto más productivas?

Si No

13. Actualmente, ¿qué tipo de cultivos son los más comunes en la zona donde usted reside?

Cultivos de legumbres (fréjol, habas, arveja, entre otros)	<input type="checkbox"/>
Cultivos de cereales (maíz, quinua, cebada, entre otros)	<input type="checkbox"/>
Cultivos de tubérculos (papas, ocas, zanahoria, entre otros)	<input type="checkbox"/>
Cultivos de frutas y verduras (mora, manzana, col, entre otros)	<input type="checkbox"/>

14. ¿Considera usted que el suelo de su zona se halla influenciado por metales pesados?

Si No

En el caso de ser positiva su respuesta, ¿cuál cree usted que es el principal promotor de la existencia de dichos metales pesados en el suelo de su zona?

Ceniza Volcánica	<input type="checkbox"/>
Productos Químicos	<input type="checkbox"/>
Uso de aguas residuales	<input type="checkbox"/>
Otro	<input type="checkbox"/>

¿Cuál? _____

15. ¿Qué tan común es la frecuencia de ocurrencia de prácticas agrícolas en la zona donde usted reside?

	Frecuente	Poco frecuente	Inexistente
Uso de fertilizantes sintéticos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Uso de plaguicidas (herbicidas, insecticidas y fungicidas)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Uso de lodos de aguas residuales como fertilizantes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

¡Gracias por su colaboración!

ANEXO B. RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE SUELO CULTIVABLE Y NO CULTIVABLE



Figura 15. Determinación del área de muestreo sobre suelo cultivado con *Solanum tuberosum*.

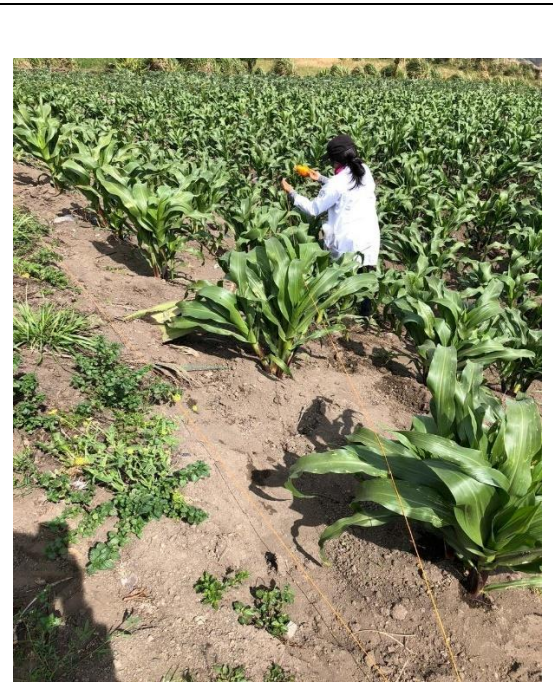


Figura 16. Recorrido tipo zig-zag delimitado con la ayuda de una piola.



Figura 17. Recolección de una submuestra de suelo cultivado con *Zea mays* a una profundidad de 50 cm.



Figura 18. Submuestra de suelo cultivado con *Solanum tuberosum* recogida a una profundidad de 50 cm.



Figura 19. Submuestra de suelo no cultivable recogida a una profundidad de 50 cm.



Figura 20. Recoleccion de una submuestra de suelo no cultivable sobre una grieta producto del deceso de lava.



Figura 21. Determinación de temperatura y humedad con la ayuda de un termohigrómetro.



Figura 22. Determinación de coordenadas de altitud, latitud y altura con la ayuda de un altímetro y GPS.

ANEXO C. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS DE MUESTRAS DE SUELO CULTIVABLE Y NO CULTIVABLE



Figura 23. Preparación de muestras de suelo previo a análisis de pH y densidad.



Figura 24. Determinación del peso del picnómetro para el análisis de la densidad de suelos

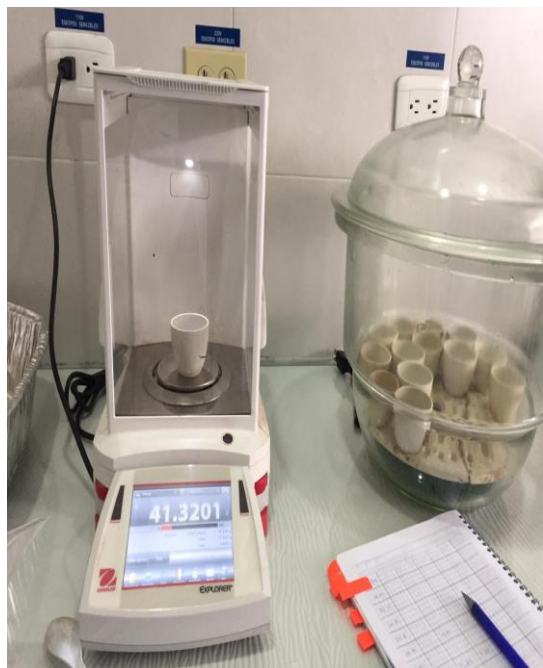


Figura 25. Pesaje de crisoles para la determinación de materia orgánica.



Figura 26. Muestras de suelo con hexametfosfato de sodio después de 24 horas

ANEXO D. DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS POR ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA CON ATOMIZACIÓN DE LLAMA



Figura 21. Muestras de digestión acida asistidas por el microondas.

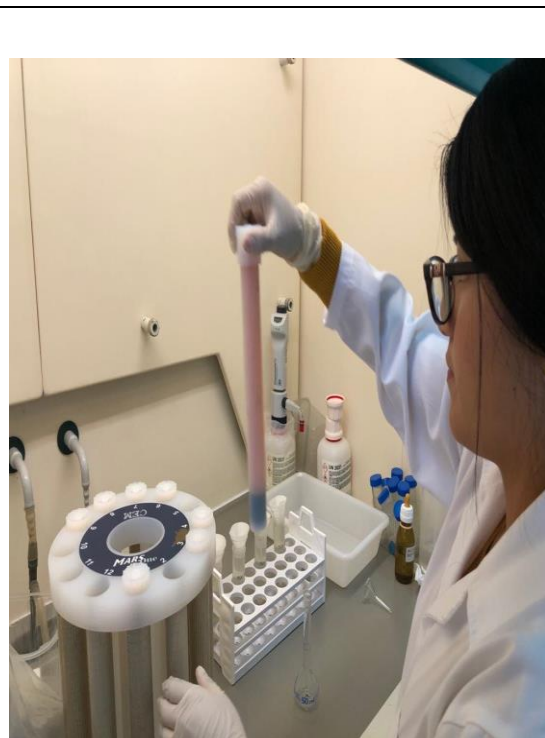


Figura 22. Muestras obtenidas después del proceso de digestión acida asistidas por el microondas



Figura 23. Muestra de suelo con ácido nítrico sin enrasar.



Figura 24. Muestras filtradas dentro de tubos falcón con la ayuda de papel filtro y embudos.



Figura 25. Analisis de cromo, níquel, cadmio y plomo por medio del equipo de espectrometría de absorción atómica por atomización de llama.

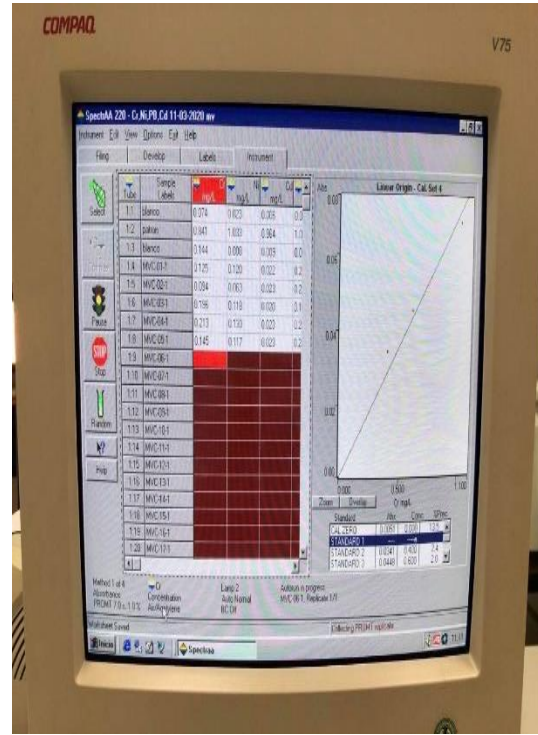
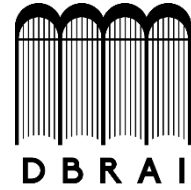


Figura 26. Resultados del analisis de metales pesados en muestras de suelo cultivable y no cultivable.





ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO
DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS
PARA EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACIÓN



UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 30 / 11 / 2020

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Victoria Jessenia Morales Cruz Erika Lisbeth Erazo Macas
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería en Biotecnología Ambiental
Título a optar: Ingeniera en Biotecnología Ambiental
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. CPA. Jhonatan Rodrigo Parreño Uquillas. MBA.
 <p>Firmado electrónicamente por: JHONATAN RODRIGO PARREÑO UQUILLAS</p> 
30-11-2020 0397-DBRAI-UPT-2020