



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CARRERA BIOQUÍMICA Y FARMACIA**

**“ESTUDIO DE BIORREMEDIACIÓN DE METALES PESADOS EN  
SUELOS CONTAMINADOS POR LA CAÍDA DE CENIZA  
VOLCÁNICA EN UN CULTIVO DE CICLO CORTO DE LA  
FUNDACIÓN SAN JUAN BAUTISTA DEL CANTÓN MOCHA,  
PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**

**Trabajo de titulación**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**BIOQUÍMICO FARMACÉUTICO**

**AUTOR:**

**JHOSUA SEBASTIÁN GUANANGA OBREGÓN**

Riobamba – Ecuador

2022



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CARRERA BIOQUÍMICA Y FARMACIA**

**“ESTUDIO DE BIORREMEDIACIÓN DE METALES PESADOS EN  
SUELOS CONTAMINADOS POR LA CAÍDA DE CENIZA  
VOLCÁNICA EN UN CULTIVO DE CICLO CORTO DE LA  
FUNDACIÓN SAN JUAN BAUTISTA DEL CANTÓN MOCHA,  
PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**

**Trabajo de titulación**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**BIOQUÍMICO FARMACÉUTICO**

**AUTOR: JHOSUA SEBASTIÁN GUANANGA OBREGÓN**  
**DIRECTORA: Dra. IRENE DEL CARMEN GAVILANES TERÁN PhD**

Riobamba – Ecuador

2022

**© 2022, Jhosua Sebastián Guananga obregón**

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

Yo, Jhosua Sebastián Guananga Obregón, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo 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, 14 de abril de 2022

**Jhosua Sebastián Guananga Obregón**  
**0604387316**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CARRERA BIOQUÍMICA Y FARMACIA**

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación; tipo: Proyecto de Investigación, **ESTUDIO DE BIORREMEDIACIÓN DE METALES PESADOS EN SUELOS CONTAMINADOS POR LA CAÍDA DE CENIZA VOLCÁNICA EN UN CULTIVO DE CICLO CORTO DE LA FUNDACIÓN SAN JUAN BAUTISTA DEL CANTÓN MOCHA, PROVINCIA DE TUNGURAHUA**, realizado por el señor: **JHOSUA SEBASTIÁN GUANANGA OBREGÓN**, 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
Dra. Lourdes Cumandá Carrera Beltrán <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	_____	2022-04-14
Dra. Irene del Carmen Gavilanes Terán PhD. <b>DIRECTORA DE TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	_____	2022-04-14
Dr. Julio César Idrovo Novillo <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	_____	2022-04-14

## DEDICATORIA

Me dedico este proyecto a mí.

Va dedicado al niño de hace 20 años atrás que jugaba con sus amigos del barrio la politécnica en aquella cancha de tierra y piedras, donde la algarabía resonaba desde lo más alto de aquella colina del parque, punto de encuentro pasadas las quince horas del día. Va dedicado a este pequeño niño amado por su familia al cual le fue depositado desde muy chico una de las más grandes responsabilidades en su vida, el cuidado de su madre. Se lo dedico a aquel niño apasionado por ser el mejor de la clase, aquel infante que anhelaba lograr un lugar en las banderas de su escuela, y para el joven centrado en culminar su bachillerato para encaminarse así en la gran aventura profesional. Quiero dedicarte el fruto de este trabajo para ti Sebas que desde pequeño deseaste ser un científico y político de calidad que marcara un antes y después en la vida, guiado siempre por la bendición de Dios a través de la mano firme de tu protectora y el apoyo incondicional de tu familia. Quiero dedicarte a ti mi pequeño futbolista, (solo tú sabes cuan grande pudiste llegar a ser con ese balón entre tus pies), que conseguiste grandes alegrías formando parte de grupos de geniales deportistas. Para ti mi galán que reconociste la delicadeza de las damas y admiraste con respeto su maravillosa existencia de la cual te enamoraste. A ti pequeño de grandes pasiones que sin darte cuenta has logrado cada cosa que te propones, amaste la cocina y disfrutas cocinar, amaste la tecnología y eres feliz jugando, te gusta crear y creas ciencia con tus manos, te apasionaba expresarte y disfrutas llegar a tu público. Todo este reconocimiento es para ti por ser él bebe que no se dio por vencido al llegar a este mundo sin signos vitales, pero que su madre en un momento de infinita angustia rogó a su ángel del cielo que le ayudara, y le brindaran a su pequeño la oportunidad de disfrutar de tan increíbles momentos vividos. Me lo dedico a mi porque hoy se acaba la mejor etapa de mi vida, llegar aquí es el mayor logro personal que he alcanzado, jamás olvidaré que formé parte de la mejor institución del país, me brindó la mejor experiencia, los mejores amigos, autoridades y docentes, compañeros, guías y colegas todos conjugados en un solo lugar para llegar a mi corazón. Finalmente quiero dedicar este sueño cumplido a mi futuro yo, porque sé que lograrás en unos años tu deseada Maestría en Alimentos y proyectarte al doctorado en Bioquímica, lograrás con esfuerzo tu sueño de ser un servidor politécnico y compartir tus conocimientos y experiencias con la comunidad como lo hicieron contigo, porque *los sueños no son muy grandes cuando tus capacidades son las suficientes para alcanzarlos*

Jhosua S. Guananga

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar doy gracias a Dios por permitirme tener tan buena experiencia dentro de mi universidad, gracias a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, noble institución formadora de líderes por permitirme cumplir mi sueño de convertirme en un profesional en lo que tanto me apasiona , gracias a cada docente que participó de este proceso integral de formación, en especial a la Dra. Irene Gavilanes por ser mi guía e indicarme el camino correcto durante el desarrollo del proyecto, gracias a mi madre Rosita y mi padre Roberto mi principal ejemplo de superación, humildad y sacrificio, gracias a mi familia, a mis tías que fueron y serán mis segundas madres, a mis tíos ejemplo de caballerosidad y espejo de profesionalismo, a mis primos y amigos en general por brindarme apoyo en cada una de las etapas de mi vida.

Gracias también a todos quienes aportaron de alguna manera su contribución para que pudiera lograr tan anhelada meta.

Jhosua S. Guananga

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	XII
RESUMEN .....	XIII
SUMMARY .....	XIV
INTRODUCCIÓN .....	1
OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	4

### CAPITULO I

1	MARCO TEÓRICO.....	5
1.1	Volcán Tungurahua.....	5
1.1.1	<i>Evento volcánico</i> .....	5
1.1.2	<i>Actividad del volcán Tungurahua</i> .....	5
1.1.2.1	<i>Estrombilianas</i> .....	6
1.1.2.2	<i>Plinianas</i> .....	6
1.1.2.3	<i>Vulcanianas</i> .....	6
1.1.3	<i>Ceniza volcánica</i> .....	7
1.1.4	<i>Composición de la ceniza del volcán Tungurahua</i> .....	7
1.2	Contaminación del suelo con metales pesados.....	9
1.2.1	<i>Metales pesados contaminantes del suelo</i> .....	11
1.2.1.1	<i>Cadmio</i> .....	11
1.2.1.2	<i>Mercurio</i> .....	12
1.2.2	<i>Elementos Traza</i> .....	13
1.2.3	<i>Depuración del suelo</i> .....	14
1.2.4	<i>Propiedades del suelo</i> .....	14
1.2.4.1	<i>pH</i> .....	14
1.2.4.2	<i>Textura</i> .....	15
1.2.4.3	<i>Materia orgánica</i> .....	15
1.2.4.4	<i>Conductividad Eléctrica</i> .....	16
1.2.4.5	<i>Densidad</i> .....	16
1.3	El suelo como base para la seguridad alimentaria .....	17
1.4	Riesgo de contaminación por metales pesados .....	19



1.4.1	<i>Enfermedades causadas en humanos por Metales Pesados</i> .....	20
1.4.1.1	<i>Enfermedades causadas por contacto con cadmio</i> .....	20
1.4.1.2	<i>Enfermedades causadas por contacto con arsénico</i> .....	21
1.4.1.3	<i>Enfermedades causadas por contacto con mercurio</i> .....	21
1.4.1.4	<i>Enfermedades causadas por contacto con plomo</i> .....	21
1.4.2	<i>Estudios realizados en Ecuador sobre metales pesados en alimentos</i> .....	21
1.4.3	<i>Factores de bioacumulación y transferencia de los MP en la planta</i> .....	23
1.4.3.1	<i>Factor de bioconcentración</i> .....	23
1.4.3.2	<i>Factor de traslocación</i> .....	23
1.5	<b>Marco legal</b> .....	24
1.6	<b>Biorremediación y Compostaje</b> .....	28
1.6.1	<b>Biorremediación</b> .....	28
1.6.1.1	<i>Fitorremediación</i> .....	28
1.6.2	<b>Compostaje</b> .....	29
1.6.2.1	<i>Parámetros de compostaje</i> .....	30
1.6.2.2	<i>Sistemas de compostaje</i> .....	31
1.6.2.3	<i>Aplicaciones, ventajas y desventajas</i> .....	32
1.7	<b>Espectrofotometría de absorción atómica</b> .....	32
1.7.1	<i>Tipo de llama en EAA</i> .....	33
1.7.2	<i>Atomización de la muestra</i> .....	33

## CAPITULO II

2	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	34
2.1	<b>lugar de estudio</b> .....	34
2.1.1	<i>Límites</i> .....	34
2.1.2	<i>Condiciones climáticas</i> .....	34
2.1.3	<i>Ubicación Geográfica</i> .....	34
2.2	<b>Técnicas y Métodos</b> .....	35
2.2.1	<b>Trabajo de campo</b> .....	35
2.2.1.1	<i>Arado del terreno</i> .....	35
2.2.1.2	<i>Diseño de parcelas</i> .....	36
2.2.1.3	<i>Distribución de los tratamientos</i> .....	37
2.2.1.4	<i>Enmiendas, surcado del terreno y siembra de la materia vegetal</i> .....	38
2.2.2	<b>Muestreo Terreno</b> .....	39
2.2.2.1	<i>Muestreo Inicial de suelo</i> .....	39
2.2.2.2	<i>Muestreo de suelo antes de la siembra</i> .....	40

2.2.2.3	<i>Muestreo de suelo después del cultivo</i> .....	41
2.2.2.4	<i>Muestreo de la materia vegetal del terreno</i> .....	42
2.2.3	<b>Trabajo de laboratorio</b> .....	42
2.2.3.1	<i>Evaluación de los parámetros comerciales</i> .....	42
2.2.3.2	<i>Secado de materia vegetal</i> .....	43
2.2.4	<b>Pruebas físicas del suelo</b> .....	44
2.2.4.1	<i>Densidad aparente del suelo</i> .....	44
2.2.4.2	<i>Densidad real</i> .....	44
2.2.4.3	<i>Textura del suelo</i> .....	45
2.2.5	<b>Pruebas químicas del suelo</b> .....	46
2.2.5.1	<i>pH</i> .....	47
2.2.5.2	<i>Conductividad Eléctrica</i> .....	47
2.2.5.3	<i>Carbono, nitrógeno</i> .....	48
2.2.5.4	<i>Materia Orgánica</i> .....	49
2.2.5.5	<i>Polifenoles</i> .....	49
2.2.5.6	<i>Digestiones en ácido sulfúrico para K, P en suelo, y Na en materia vegetal</i> .....	50
2.2.5.7	<i>Fosforo</i> .....	51
2.2.5.8	<i>Potasio</i> .....	51
2.2.5.9	<i>Sodio</i> .....	52
2.2.5.10	<i>Digestiones ácidas para determinación de metales pesados</i> .....	52
2.2.5.11	<i>Cadmio</i> .....	52
2.2.5.12	<i>Mercurio</i> .....	53
2.2.6	<b>Pruebas biológicas</b> .....	54
2.2.6.1	<i>Índice de germinación</i> .....	54

### CAPITULO III

3	<b>RESULTADOS Y DISCUSIONES</b> .....	56
3.1	<b>Parámetros físicos y químicos del suelo inicial</b> .....	56
3.2	<b>Parámetros físicos, químicos y biológicos del Compost</b> .....	57
3.3	<b>Análisis de micro y macro nutrientes del Compost</b> .....	60
3.4	<b>Análisis físico químico y elemental del suelo antes de la siembra y después de la cosecha</b> .....	61
3.4.1	<i>pH</i> .....	62
3.4.2	<i>Conductividad eléctrica</i> .....	63
3.4.3	<i>Materia orgánica</i> .....	64
3.4.4	<i>Carbono y Nitrógeno</i> .....	65

3.4.5	<i>Potasio y fósforo</i> .....	67
3.4.6	<i>Metales pesados en suelo</i> .....	68
3.5	<b>Análisis de la biomasa vegetal (Cebolla)</b> .....	69
3.5.1	<i>Parámetros comerciales y de calidad de la cebolla</i> .....	70
3.5.2	<i>Factores de bioacumulación de metales pesados</i> .....	72
3.5.2.1	<i>Factor de bioconcentración</i> .....	73
3.5.2.1	<i>Factor de traslocación</i> .....	73
3.5.3	<b>Metales y macronutrientes en la biomasa vegetal (cebolla)</b> .....	74
3.5.3.1	<i>Carbono</i> .....	74
3.5.3.2	<i>Nitrógeno</i> .....	75
3.5.3.3	<i>Potasio</i> .....	76
3.5.3.4	<i>Fósforo</i> .....	78
3.5.3.5	<i>Sodio</i> .....	79
3.5.3.6	<i>Cadmio</i> .....	81
3.5.3.7	<i>Mercurio</i> .....	82
<b>CONCLUSIONES</b> .....		84
<b>RECOMENDACIONES</b> .....		85
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b>	Composición química de la ceniza del volcán Tungurahua .....	8
<b>Tabla 2-1:</b>	Elementos traza de acuerdo con su forma química .....	13
<b>Tabla 3-1:</b>	Metales/ metaloides según su riesgo para la cadena alimentaria .....	17
<b>Tabla 4-1:</b>	Fuentes de contaminación de MP en alimentos .....	19
<b>Tabla 5-1:</b>	Criterios de calidad del suelo .....	25
<b>Tabla 6-1:</b>	Criterios de calidad del suelo y hortalizas. ....	27
<b>Tabla 1-2:</b>	Codificación de cada parcela.....	37
<b>Tabla 2-2:</b>	Distribución aleatoria de las parcelas .....	38
<b>Tabla 1-3:</b>	Resultados de parámetros físicos del suelo inicial .....	56
<b>Tabla 2-3:</b>	Resultados de parámetros químicos del suelo inicial .....	57
<b>Tabla 3-3:</b>	Parámetros químicos y biológicos del compost .....	58
<b>Tabla 4-3:</b>	Análisis de macro nutrientes y aniones en el compost .....	60
<b>Tabla 5-3:</b>	Evaluación de pH, salinidad, materia orgánica del suelo durante el cultivo de cebolla .....	62
<b>Tabla 6-3:</b>	Evolución de macro y micronutrientes del suelo durante el cultivo de cebolla .....	65
<b>Tabla 7-3:</b>	Evaluación de los metales Cd y Hg en el suelo durante el cultivo .....	68
<b>Tabla 8-3:</b>	Parámetros generales para evaluar la calidad del cultivo de cebolla entre tratamientos .....	70
<b>Tabla 9-3:</b>	Cálculo de los factores BCF y TF de la cebolla ( <i>A.fistulosum</i> ) para Cd y Hg .....	72

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b>	Actividad del volcán Tungurahua.....	5
<b>Figura 2-1:</b>	Vegetación contaminada con ceniza volcánica.....	7
<b>Figura 3-1:</b>	Proceso de depuración del suelo por aire.....	14
<b>Figura 4-1:</b>	Mecanismos de fitorremediación de la planta.....	29
<b>Figura 5-1:</b>	Biorremediación de suelos contaminados a base del excremento.....	30
<b>Figura 1-2:</b>	Ubicación Geográfica del Cantón Mocha.....	35
<b>Figura 2-2:</b>	Arado de terreno con tractor.....	36
<b>Figura 3-2:</b>	Diseño de parcelas.....	36
<b>Figura 4-2:</b>	División de las parcelas.....	37
<b>Figura 5-2:</b>	Aplicación de enmienda al terreno.....	38
<b>Figura 6-2:</b>	Siembra de plántulas.....	39
<b>Figura 7-2:</b>	Muestreo en zigzag.....	39
<b>Figura 8-2:</b>	Toma de muestras de suelo S0.....	40
<b>Figura 9-2:</b>	Toma de muestras de suelo S1.....	41
<b>Figura 10-2:</b>	Toma de muestras de suelo S2.....	41
<b>Figura 11-2:</b>	Cosecha primer cultivo.....	42
<b>Figura 12-2:</b>	Parámetros de calidad de la planta.....	43
<b>Figura 13-2:</b>	Secado de material vegetal.....	43
<b>Figura 14-2:</b>	Densidad aparente.....	44
<b>Figura 15-2:</b>	Densidad Real.....	45
<b>Figura 16-2:</b>	Determinación de textura por método de Bouyoucos.....	45
<b>Figura 17-2:</b>	Triángulo de textura.....	46
<b>Figura 18-2:</b>	Medición de pH en suelo.....	47
<b>Figura 19-2:</b>	Medición de CE en suelos.....	48
<b>Figura 20-2:</b>	Pesaje en microbalanza.....	48
<b>Figura 21-2:</b>	Determinación de MO por calcinación.....	49
<b>Figura 22-2:</b>	Determinación de polifenoles.....	50
<b>Figura 23-2:</b>	Digestiones en H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	51
<b>Figura 24-2:</b>	Lectura de P, K y Na.....	52
<b>Figura 25-2:</b>	Lectura de Cd.....	53
<b>Figura 26-2:</b>	Lectura de Hg.....	54
<b>Figura 27-2:</b>	Medición de índice de germinación de Compost y Gallinaza.....	55

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-3:</b>	Medias marginales estimadas de Carbono .....	74
<b>Gráfico 2-3:</b>	Medias marginales estimadas del nitrógeno.....	75
<b>Gráfico 3-3:</b>	Medias marginales estimadas de potasio .....	77
<b>Gráfico 4-3:</b>	Medias marginales estimadas de Fósforo.....	78
<b>Gráfico 5-3:</b>	Medias marginales estimadas de sodio .....	80
<b>Gráfico 6-2:</b>	Medias marginales estimadas de cadmio .....	81
<b>Gráfico 7-3:</b>	Medias marginales estimadas de mercurio.....	82

## RESUMEN

El objetivo del proyecto fue estudiar el proceso de biorremediación de metales pesados en suelos contaminados por la caída de ceniza volcánica mediante cultivos de ciclo corto en la Fundación San Juan Bautista del cantón Mocha, provincia de Tungurahua. Para ello se sembraron cebollas como material vegetal enmendado con “compost”. Se evaluaron los parámetros físicos y químicos del suelo y de las plantas cultivadas durante el ciclo de cultivo. Se realizaron análisis de pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, textura, aniones, (C, N, K, P y Na) y metales pesados, así como índice de germinación y polifenoles y los parámetros comerciales de la cebolla. Los resultados de suelo inicial fueron: pH(7.13), C.E(0.19 dS/m), D.R(1.248), D.A(1.186) y textura “areno francosa”. Para el suelo S1 los resultados fueron: pH(7.47-7.21), C.E(0.17-0.42 dS/m), M.O(3.88- 5.73%), C(3.75- 5.75%), N(0.68-0.69%), K(2448.02-3013.20 mg/kg), P(1019.61-1031.66 mg/kg), Cd(0.11-0.15 mg/kg) y Hg(0.05-0.05 mg/kg), en S.N y S.C respectivamente. Los resultados obtenidos en S2: pH(7.09-7.03), C.E(0.19-0.23 dS/m), M.O(5.55-5.25 %), C(4.42-1.66 %), N(0.72-1.26 %), K(3233.11-2806.72 mg/kg), P(994.35-1062.06 mg/kg), Cd(0.16-0.09 mg/kg) y Hg(0.04-0.05 mg/kg) en S.N y S.C. Para parámetros comerciales se terminó que las cebollas con compost tenían mejor calidad comercial. Finalmente se evaluaron B.C.F para Cd(0.519-3.013) para plantas S.N y S.C, e igualmente para Hg(1.371-0.591). En T.F para Cd(0.858-0.678 tallo) (0.290-1.013 hojas), en Hg(0.251-1.744 tallo) (0.343-1.668 hojas) para plantas S.N y S.C. Se concluye que la concentración de los metales Hg y Cd no superaron los límites permisibles por las normativas citadas, sin embargo, si tienen capacidad de ingresar a la cadena alimentaria a través de la materia vegetal suponiendo un riesgo en la seguridad alimentaria. Se recomienda controlar periódicamente los niveles de contaminantes de suelo, sobre todo en las zonas cercanas a la exposición volcánica.

**Palabras clave:** <BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS> <FITORREMEDIACIÓN> <METALES PESADOS EN ALIMENTOS> <SEGURIDAD ALIMENTARIA> <COMPOST> <ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA>.

## ABSTRACT

The main objective of this research project was to study the bioremediation process of heavy metals in contaminated soils by the fall of volcanic ash through short-cycle crops at the Foundation San Juan Bautista of Mocha canton, province of Tungurahua. For this purpose, onions were planted as plant material amended with "compost". The physical parameters and chemicals from the soil and cultivated plants during the crop cycle. The pH, electrical conductivity, organic matter, texture, anions (C, N, K, P, and Na) and metals heavy, as well as germination index and polyphenols and the commercial parameters of the onion, were analyzed. The initial soil results were: pH(7.13), C.E(0.19 dS/m), D.R(1.248), D.A(1.186) and loamy sand texture. For soil S1 the results were: pH(7.47-7.21), C.E(0.17-0.42 dS/m), M.O(3.88- 5.73%), C(3.75- 5.75%), N(0.68-0.69%), K(2448.02-3013.20 mg/kg), P(1019.61-1031.66 mg/kg), Cd(0.11-0.15 mg/kg) and Hg(0.05-0.05 mg/kg), in S.N and S.C respectively. The results obtained in S2: pH(7.09-7.03), C.E(0.19-0.23 dS/m), M.O(5.55-5.25%), C(4.42-1.66%), N(0.72-1.26%), K(3233.11-2806.72 mg/kg), P(994.35-1062.06 mg/kg), Cd(0.16-0.09 mg/kg) and Hg(0.04-0.05 mg/kg) in S.N and S.C. For commercial parameters, it was concluded that the onions with compost had better commercial quality. Finally, B.C.F was evaluated for Cd (0.519-3.013) for S.N and S.C plants, and also for Hg (1.371-0.591). In T.F for Cd (0.858-0.678 stem) (0.290-1.013 leaves), in Hg (0.251-1.744 stem) (0.343-1,668 leaves) for S.N and S.C. plants. It is concluded that the concentration of the metals Hg and Cd does not exceed the permissible limits by the aforementioned regulations, however, if they can enter the food chain through plant matter, assuming a risk to the food safety. It is recommended to periodically check the levels of pollutants in soil, especially in areas close to volcanic exposure.

**Keywords:** <SOIL BIOREMEDIATION> <PHYTORREMEDIATION>  
<HEAVY METALS IN FOOD> <FOOD SAFETY> <COMPOST>  
<ATOMIC ABSORPTION SPECTROPHOTOMETRY>.



## INTRODUCCIÓN

El Ecuador es uno de los países más biodiversos del planeta contando con 7 de cada 10 especies de animales del mundo, esta gran biodiversidad es gracias a la ubicación geográfica de nuestro país lo cual crea el escenario perfecto para la variedad de ecosistemas y el desarrollo de sus especies. Además, el Ecuador posee una extensa cordillera andina con una basta cantidad de volcanes que cubren el territorio ecuatoriano, tres de los cuales se encuentran actualmente en estado eruptivo. El volcán Reventador, Sangay y Tungurahua emitiendo constantemente material volcánico al ecosistema durante varios años (Ministerio del Ambiente, 2016)

El volcán Tungurahua ubicado a 5020 m de altura se encuentra en proceso eruptivo desde 1999 hasta la actualidad, estos períodos activos se han venido registrando año tras año, siendo el 2016 el reporte más reciente de la emisión de lava más representativa de la década pasada, en la que se llegó a expulsar hasta 500 m de lava sobre el nivel de su cráter, reportando en esa fecha la alerta naranja (Ministerio del Ambiente 2016) Esta emisión de gases y cenizas a las provincias aledañas afectan principalmente a los pueblos que se encuentran alrededor del edificio volcánico, en los que prima la actividad agrícola y ganadera para el sustento diario de las familias, produciendo daños graves tanto materiales como humanos en el día a día de los habitantes de estas zonas (Instituto Geofísico, 2020)

El cantón Mocha ubicado al suroccidente de la provincia de Tungurahua, en una zona montañosa con volcanes activos, basta de una historia rica en culturalidad, habitada en la antigüedad por tribus como los Panzaleos, posee una superficie de 82.63 Km<sup>2</sup>, en los que resalta los paisajes de sus páramos andinos, su flora y fauna. Esta pequeña zona agrícola ha sufrido varios sismos destructores a lo largo del tiempo (1797, 1949 y 1968) y por supuesto la constante caída de ceniza volcánica de quien los custodia desde lo más alto, el volcán Tungurahua, causante de que la producción agrícola y ganadera se vea interrumpida y solamente quede intentar salvar lo poco que ha quedado después de tan lamentables catástrofes y así reconstruir su amada ciudad, algunas veces desde los escombros (Municipio de Mocha, [sin fecha])

Como se ha mencionado la contaminación del material edáfico a causa de la caída de ceniza en la zona del cantón Mocha es indiscutible, esta contaminación trae consigo la adsorción de metales pesados en el suelo, agua y animales, generando preocupación entre más de siete mil habitantes quienes su principal fuente de sustentos es el cultivo de plantas y crianza de animales, por tanto;

¿Puede verse afectada la seguridad alimentaria a causa de la contaminación del suelo agrícola con metales pesados depositados por la caída de ceniza del volcán Tungurahua?, y ¿Qué se puede hacer para reducir el nivel de contaminación en la zona agrícola del cantón Mocha?

La caída de ceniza y el abandono de las tierras ha causado un grave impacto en la agricultura y la producción de la población. Con el paso de los años se han perdido muchos cultivos y pese a las medidas establecidas por el municipio y a los altos riesgos que implica para los habitantes, quienes se aferran a lo suyo siguen viviendo y trabajando en zonas de alto riesgo con altos niveles de contaminación y, los efectos en la salud de los pobladores será un denominador común con el pasar del tiempo (Haro 2011).

El suelo es capaz de mantener su productividad biológica cuando se encuentra en buen estado, esto se ve reflejado en la salud de las plantas, animales e incluso del ser humano. Cuando este estado es perturbado por contaminantes que afectan su actividad, el suelo intenta auto depurarse, lo cual le permite asimilar cierta cantidad de contaminantes. Las fuentes de los contaminantes pueden ser antropogénicas como el uso de los pesticidas o naturales en las erupciones volcánicas (Galán y Romero, 2008). Sin embargo, el suelo no es un recurso renovable y puede degradarse si no se cuida de la manera adecuada. El suelo puede contaminar alimentos, agua e incluso el aire que respiramos. Se estima que el 95% de los alimentos de nuestra ingesta se producen directa o indirectamente de este recurso (Food and Agriculture Organisation, 2018).

Por tanto, la seguridad alimentaria será el reflejo de la calidad de suelo, ya que cuando este sistema edáfico se vea afectado, habrá una reacción en cadena subsecuente de la contaminación a la que fue sometido, dañando a plantas, animales y claro está a los humanos quienes finalmente nos alimentamos de estos dos primeros, generando un desbalance en la cadena alimentaria produciendo enfermedades como intoxicaciones, aumento de mortalidad y un impacto ambiental alto, y por si no fuese poco terminaría con un grave hueco en la productividad y por ende un golpe en el sector económico (Food and Agriculture Organisation, 2018).

La concentración de metales pesados (Cd y Hg) se cuantificará por espectroscopía de absorción atómica (EAA) en muestras de suelo y alimento cultivado para determinar si los contaminantes pueden afectar a la cadena alimentaria, además de que se evaluarán aspectos fisicoquímicos como el pH y conductividad eléctrica del suelo, parámetros que determinan la biodisponibilidad de los metales pesados en el mismo. Estos resultados se contrastarán con las normas internacionales para valores permisibles de los metales pesados en los alimentos (Roca, [sin fecha]).

Se deberán evaluar las concentraciones de los metales pesados en dos factores para conocer la transferencia de estos hacia la planta y sus órganos o sección comestibles, para verificar si suponen o no un riesgo a la cadena alimentaria, debido a que el 90% de la ingesta de estos elementos contaminantes se produce por el consumo de alimentos y agua contaminados (Goetschel 2018). El factor de Bioacumulación “BCF” que determina la capacidad de la planta de acumular metales en la raíz en

relación con la del suelo y, el factor de translocación “TF” que determina la capacidad absorbente de los órganos de la planta con respecto al de la raíz (Castro et al., 2018).

Una alternativa de bajo costo y efectiva para recuperar los suelos contaminados por residuos como solventes, pesticidas o metales, es el compostaje, cuyo principio básico es el uso de residuos orgánicos para convertirlos en materia orgánica estable (Eweis and Eweis, 1998).

Este trabajo de titulación forma parte del Grupo Asociado de Investigación en Biotecnología, Ambiente y Química (GAIBAQ) de la Facultad de Ciencias, quienes brindaron el apoyo investigativo con el compost que se empleará como enmienda orgánica del suelo, mismo que fue elaborado con residuos agroindustriales procedentes de diferentes empresas de la provincia de Chimborazo y, de esta manera, garantizar que la seguridad alimentaria se mantenga desde la producción agrícola y no se vea afectada por estos contaminantes naturales emitidos por las erupciones volcánicas, razón por la cual la investigación y abordaje de este tema es importante en el campo profesional de un Bioquímico Farmacéutico.

## **OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **Objetivo general**

Estudiar el proceso de biorremediación de metales pesados en suelos contaminados por la caída de ceniza volcánica mediante cultivos de ciclo corto en la Fundación San Juan Bautista del cantón Mocha, provincia de Tungurahua.

### **Objetivos específicos**

- Cuantificar mediante espectroscopía de absorción atómica los metales pesados presentes en las muestras de suelo de la zona de estudio.
- Comparar la variabilidad de los resultados de la bioacumulación de metales pesados y contenido de nutrientes de las plantas, entre los diferentes tratamientos empleados en la zona cultivada.
- Evaluar el riesgo para la seguridad alimentaria mediante los factores BCF y TF en los cultivos de cebolla de la zona de estudio.
- Caracterizar a través de propiedades fisicoquímicas y morfológicas de la biomasa vegetal cultivada en la zona de influencia del volcán Tungurahua.

## CAPITULO I

### 1 MARCO TEÓRICO

#### 1.1 Volcán Tungurahua

##### *1.1.1 Evento volcánico*

Es una manifestación de actividad del volcán, que emite sustancias, sólidas, gaseosas y líquidas al exterior del cráter. Entre el material expulsado se encuentra gases de altas temperaturas, flujos de lava que pueden alcanzar los 100 km/h sobre la superficie y los flujos piroclásticos, es decir, los productos sólidos que pueden ser lanzados a la atmósfera durante la erupción (Ministerio del Ambiente, 2016)

##### *1.1.2 Actividad del volcán Tungurahua*

El volcán Tungurahua está ubicado a 5020 metros de altura, se encuentra activo desde hace 21 años, cuando en 1999 inició su etapa eruptiva. Para finales del 2010 se registró una alerta naranja y en el 2016 (el registro más reciente de emisión significativa de la década pasada) se llegó a emitir hasta 500 metros de lava sobre el nivel de su cráter, alcanzando así la alerta naranja (Ministerio del Ambiente, 2016). La emisión de gases y ceniza afecta a las comunidades aledañas, principalmente a los pueblos que se dedican a la actividad agrícola - ganadera y significativamente al medio ambiente con la contaminación del aire, suelo y agua (Instituto Geofísico, 2020).



**Figura 1-1:** Actividad del volcán Tungurahua

**Fuente:** Hickey, 2020

De acuerdo con el Instituto Geofísico - EPN [sin fecha], desde el inicio de la actividad eruptiva del volcán Tungurahua hace más de dos décadas, las emisiones de columnas de ceniza y gases a la superficie terrestre han sido constantes a lo largo de este tiempo, registrando en su base de datos los más importantes hechos. Resaltando así en el año de 1999 el inicio de la emisión de material volcánico y el estado de alerta naranja para la población; En el 2006 registrándose un estado de erupción creciente con víctimas mortales; En el año de 2007 aumento de la actividad volcánica y emisión de la alerta roja; Y finalmente en el mes de diciembre de 2010 la declaración de alerta roja como consecuencia de la alta actividad eruptiva (Ministerio del Ambiente, 2016).

Las características de las erupciones del volcán Tungurahua varían entre estrombolianas plinianas y vulcanianas, que dependen de la magnitud del evento volcánico. Cada tipo tiene sus cualidades particulares y bien diferenciadas que se mencionan a continuación (Morales y Erazo, 2020).

En cuanto al tipo de erupciones de este edificio volcánico se han evidenciado tres, los cuales se diferencian de acuerdo con su magnitud e intensidad de sus explosiones.

#### 1.1.2.1 *Estrombolianas*

También llamadas explosiones directas, se denomina así al tipo de explosiones intermitentes con la presencia de sismos persistentes, emisiones de lava y flujos piroclásticos, además de expulsión de ceniza la cual se deposita en la superficie terrestre, este tipo de erupción es la más peligrosa para la población cercana a las laderas del Tungurahua (Morales y Erazo, 2020).

#### 1.1.2.2 *Plinianas*

Se refiere al tipo de erupciones con menor cantidad o nula emisión de ceniza, por el contrario, estas tienen mayor cantidad de gas. Las plinianas duran por algunos días e incluso semanas y finalmente la actividad cesa (Morales y Erazo, 2020).

#### 1.1.2.3 *Vulcanianas*

Es el tipo más representativo del volcán Tungurahua en las erupciones de estos últimos años, se trata de pequeñas erupciones de segundos hasta minutos, con actividad explosiva intensa, emisión de ceniza, flujos de lava y lahares que se forman con la lluvia, sin embargo, con episodios más cortos de duración que los dos anteriores (Morales y Erazo, 2020).

### **1.1.3 Ceniza volcánica**

Su composición está dada por fragmentos de roca pulverizada o cuarteada y vidrio, silicios (más del 50%) a temperaturas muy altas. Las columnas de ceniza se acompañan de gases como el dióxido de azufre y ácido clorhídrico que se produce en el momento de la erupción, emitiendo además gran cantidad de magma y rocas a la atmósfera. Por lo tanto, en las alturas representan un riesgo potencial para las aeronaves en las que puede afectar el correcto funcionamiento de los motores o dañar las superficies aerodinámicas del avión (Dirección General de Aeronáutica Civil, 2014).

Al momento de producirse una erupción la ceniza se forma debido a la fragmentación del magma, pudiendo ser considerada primaria cuando se da una expansión y enfriamiento rápido de este material, o secundaria, si ocurre una colisión y abrasión de los clastos sólidos grandes, de los cuales se produce la mayor cantidad de partículas de ceniza pequeña (Morales y Erazo, 2020).

Según Beaglehole et al., (1993), la acumulación que suscita al momento a de la caída de ceniza volcánica es un contaminante peligroso para la vegetación ya que provoca quemaduras en las plantas durante los meses en que cubre la superficie del terreno. Sin embargo, el suelo puede beneficiarse en los siguientes cultivos debido a los nutrientes que la ceniza deposita en la tierra y que al mezclarse ésta aumenta la fertilidad agrícola.



**Figura 2-1:** Vegetación contaminada con ceniza volcánica

Fuente: Hernández, 2015

### **1.1.4 Composición de la ceniza del volcán Tungurahua**

Los fragmentos pequeños de aproximadamente 2 mm de diámetro se los llama “Lapilli” y, la ceniza fina se caracteriza por tener diámetros menores a 0.06 mm. La ceniza posee características de dureza

entre 2-7 Mohs y una densidad de 0.5 – 2 g/cm<sup>3</sup> que la hace caer lentamente desde su expulsión acumulándose en la superficie terrestre, contaminando así recursos como el agua, suelos, vegetales y animales (Arcilla y Saldías, 2005).

La composición que posee la ceniza del volcán Tungurahua, motivo de nuestro estudio es:

**Tabla 1-1:** Composición química de la ceniza del volcán Tungurahua

<b>ELEMENTO</b>	<b>CENIZA TUNGURAHUA</b>
<b>SiO<sub>2</sub></b>	58%
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	17.2%
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	6.75%
<b>MgO</b>	3.65%
<b>CaO</b>	6.52%
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	4.01%
<b>K<sub>2</sub>O</b>	1.7%
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0.88%
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0.35%
<b>MnO</b>	0.10%

**Fuente:** Zeballos et al., (1996)

En el estudio realizado por Zeballos et al., (1996) denominado “The effects of volcanoes on health: preparedness in Mexico” se reporta la composición química de la ceniza del volcán Tungurahua en contraste con la del volcán “Pinatubo” obteniendo resultados de: SiO<sub>2</sub> (58%), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (17.2%), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (6.75%), MgO (3.65%), CaO (6.52%), Na<sub>2</sub>O (4.01%), K<sub>2</sub>O (1.7%), TiO<sub>2</sub> (0.88%), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0.35%), MnO (0.10%) del coloso ecuatoriano. Las concentraciones de óxido de silicio significan mayor interés desde el punto de vista de la seguridad alimentaria y salud al ser relacionado a la fibrosis pulmonar y otras afecciones respiratorias.



## 1.2 Contaminación del suelo con metales pesados

Actualmente se ha notado una modernización de la agricultura, tanto en las técnicas que se emplean, como en los medios que usan los agricultores para producir en sus tierras. Es así como el uso en aumento de organismos modificados genéticamente, cultivos de alto rendimiento, y uso de plaguicidas para controlar insectos, animales invasores o maleza que puedan afectar a sus cosechas, producen un incremento en la biodisponibilidad de elementos tóxicos en suelos y plantas. Tal es el caso de la presencia de metales pesados en el sistema edáfico como en los alimentos, lo cual supone un riesgo a la salud de los consumidores, situación que sucede principalmente en países donde los controles de calidad no se realizan con la intensidad que una problemática así requiere (Mahecha et al., 2015).

Se considera metal pesado a los elementos que posean una densidad mayor a  $5\text{g/cm}^3$ , o a su vez un número atómico mayor a 20. Estos elementos metálicos presentan “dinámica” en el suelo, por lo que puede identificarse procesos como movilización a las aguas, volatilización, incorporación a la cadena trófica (mediante las plantas), y retención en suelos ya sea porque los MP sufrieron precipitación, formaron complejos o presentaron adsorción (Navarro et al., 2007).

La contaminación del suelo puede ser de origen natural (erupciones volcánicas, reacciones químicas, incendios) o de origen antropogénicas (actividades agrícolas, contaminantes inorgánicos, residuos tóxicos, pesticidas). Los metales pesados (MP) pueden llegar procedentes de actividades de fumigación desmedida, desechos industriales o erupciones volcánicas. En el suelo la cantidad de MP varía en dependencia del trato o exposición a fuentes de contaminación, además por la ligera lixiviación y absorción de ciertas plantas sobre estos metales con el fin de buscar el equilibrio biológico (Barrio, 2017).

En el contexto de origen natural, se ha detectado altos niveles tóxicos de MP en suelo en la isla Reunión (Francia) asociados a la actividad volcánica activa que se presenta en la zona, en los que se resalta la presencia de mercurio, cromo, cobre, níquel y zinc, tal cual sucedió en suelo volcánico de Indonesia, donde también se detectó la presencia de cromo y níquel. Sin embargo, normalmente este tipo de contaminación no antropogénica no suele representar mayor amenaza contaminadora, ya que el propio suelo posee capacidad regeneradora y las plantas adaptación al ecosistema.

Por otra parte, en cuanto a fuentes antropogénicas, las principales fuentes de contaminación son causados por actividades industriales, desechos municipales (aguas residuales), empleo de productos agroquímicos, y derivados de hidrocarburos. Voluntariamente el uso desmedido de plaguicidas desprenden cantidad de metales pesados, los cuales son parte de la composición química de estos productos de control de plagas y de esta forma son adsorbidos por las plantas y por el suelo, causando enfermedades e el ser humano al ingresar a la cadena alimentaria. De manera involuntaria, los derrames

petroleros y/o de materia prima son la mayor causa de contaminación de suelos en este tipo (Rodríguez et al., 2019).

El suelo es capaz de auto depurarse, por lo que puede soportar una cantidad determinada de contaminantes. Cuando ésta sobrepasa el límite se habla de un suelo cuyas características físicas, químicas y biológicas no son las óptimas para un desarrollo y, por lo tanto, el suelo es contaminado. La retención de los contaminantes tiene una relación directa con la biodisponibilidad y la degradación de los elementos que puedan afectar el suelo, a este efecto se le conoce como adsorción, que siguen las leyes de fuerza de van del Waals y enlaces hidrógeno-hidrógeno. La carga del contaminante también interviene en la retención a través del intercambio iónico que reemplazan iones del mineral con iones del suelo. La precipitación química es característica de suelos completamente contaminados que provoca la cristianización de un compuesto (Barrio, 2017).

La actividad minera es una de las fuentes de mayor impacto de contaminación por metales pesados en suelos, debido a que los procesos propios de la actividad liberan enormes cantidades de estos elementos tóxicos al medio, los cuales permanecen en suelos por mucho tiempo, incluso después de cesar las actividades mineras en una locación (Rodríguez et al., 2019). Así se muestra en diferentes estudios, por ejemplo, en la India se han analizado el suelo agrícola en las cercanías de una mina de cromita y asbesto abandonada, en las que se evidencio los altos riesgos para la salud humana y bovina por las concentraciones evidentes de Cr y Ni (Kumar y Subodh, 2015).

Una problemática muy particular en los poblados de países en vías de desarrollo o subdesarrollados son la eliminación de desechos municipales, los desechos de aguas residuales no tratadas eliminan al medio ambiente una gran cantidad de metales pesados, en algunas ocasiones por los lixiviados en los fallidos intentos municipales de contención de los contaminantes. Llegan a fuentes de agua, mismas que son contaminadas gravemente y en varias ocasiones se encuentran alledañas a los cultivos, en las que muchos campesinos aprovechan para hacer uso en el regadío diario de sus cultivos. Esta situación sumada al crecimiento poblacional y por tanto aumento de la producción de desechos, crean un ambiente peligroso para la salud de las familias que viven esta situación y de quienes consumen los productos que el suelo agrícola contaminado les brinda (Rodríguez et al., 2019).

Las pilas o baterías de Pb son la principal fuente de contaminación de suelo en todo el mundo, un análisis en el continente africano, donde el crecimiento de las industrias va en crecimiento durante los últimos años, evidenciaron que las plantas de fabricación y reciclaje de estas baterías suponen un riesgo a la salud humana en los que debido a la falta de tratamiento y una pésima regulación o control de estas, dieron como resultado niveles altos de este elemento tóxico en la sangre de los habitantes vecinos a las fábricas en cuestión (Rodríguez et al., 2019).

Se debe mencionar que los MP actúan con cierta dinámica en el suelo, por lo que se los puede encontrar en diferentes vías, sea retenidos por efectos de precipitación, adsorción, complejación, o disueltos, adsorbidos en estructuras inorgánicas, o incorporados al suelo en materia orgánica y finalmente, se los puede encontrar también como sólidos mixtos o puros precipitados (Navarro et al., 2007).

### ***1.2.1 Metales pesados contaminantes del suelo***

#### ***1.2.1.1 Cadmio***

Se encuentra en la corteza terrestre, generalmente asociado a minerales de Zinc debido a su química electronegativa e iónica, por ejemplo, en forma de blenda de cadmio. Su concentración en suelos es por debajo de 1 ppm, ya sea como complejos de cadmio como  $\text{CdCl}$ ,  $\text{CdCl}_3$ , o  $\text{Cd}(\text{OH})_3$ , o en forma de solución con estado de oxidación de  $2+$  (Guzmán, 2011).

Este elemento tiene un tiempo de vida que sobrepasa los 1000 años, con el pH ácido del suelo, la planta aumenta la asimilación del contaminante. Su fuente principal son pinturas, baterías, desechos mineros y fertilizantes fosfatados. Algunas patologías causadas por la intoxicación de Cd es la osteomalacia e insuficiencia renal (Barrio, 2017). Su absorción se da mediante los transportadores de minerales como potasio, calcio, magnesio y hierro dentro de la misma planta, para ello, este elemento metálico debe encontrarse en forma de iones libres o estar unido a compuestos orgánicos (Pérez et al., 2008).

El Cd es absorbido por la materia orgánica del suelo, los suelos principalmente ácidos permite que aumente la absorción mediante plantas, siendo un riesgo potencial para la salud de los animales quienes se alimentan finalmente de los vegetales contaminados (Pérez et al., 2008).

A nivel antropogénico el cadmio puede originarse de diferentes fuentes como por ejemplo de actividades mineras, la cual contamina el medio acuático que es drenado por la minería vertiendo el metal en aguas residuales. Otra actividad para tener en cuenta es el uso de fertilizantes fosfatados que contienen cadmio en su composición, y finalmente la fabricación industrial de baterías, pinturas y las soldaduras son fuentes de emisión de Cd al medio ambiente (Sánchez, 2016).

La principal fuente de exposición de animales y seres humanos con este metal es a través de alimentos y agua. La OMS menciona que de acuerdo con el tiempo y vía de exposición del cadmio se van a evidenciar los síntomas o afecciones en el organismo, ya que, en intoxicaciones mayores se han

presentado anemia, osteoporosis, enfermedades respiratorias, dolor de cabeza, vértigo, cáncer de próstata entre otros, mientras que para una exposición aguda puede afectar los pulmones causando neumonitis, edema pulmonar, náuseas, vómito y daños cromosómicos (Londoño et al., 2016).

En el organismo humano el cadmio afecta principalmente al riñón con lo cual es causante de proteinuria de bajo peso molecular a nivel de corteza renal, siendo 200 mg/kg la concentración crítica y determinante para esta patología (Ramírez 2008).

#### 1.2.1.2 *Mercurio*

Es un elemento metálico de baja solubilidad en agua, su número atómico en la tabla periódica de elementos es 80, cuenta con una masa atómica de 200,6 g/mol, un punto de fusión de  $-39^{\circ}\text{C}$  y punto de ebullición de  $357^{\circ}\text{C}$ , químicamente los estados de oxidación son de 2+, y 1+ con lo cual forma complejos como el  $\text{HgCl}_2$  “cloruro mercurico” (PRTR, 2007). Entre otras características es altamente volátil a partir de los  $13^{\circ}\text{C}$ , por su tensión superficial alta y baja viscosidad no puede mojar una superficie. En la industria metálica es muy empleado en aleaciones con varios metales como Ag y Au (Ramírez, 2008).

Es muy reconocido por su carácter contaminante, tóxico y por su capacidad de acumularse en organismos y en el medio ambiente. Datos mencionan que casi toda la emisión este metal se encuentra en suelos y, por lo tanto, pequeñas cantidades se encuentran en agua y atmósfera (Gaona, 2004). La principal incorporación de Hg a la cadena trófica es a partir de la forma metálica del mercurio que se incorpora a la atmósfera en estado de vapor para posteriormente transformarse en su especie soluble 2+ (Doadrio, 2009).

Industrialmente se emplea como líquido de contacto en los interruptores, en bombas de difusión y termómetros. En la naturaleza se puede identificar dentro de los minerales de rocas y suelos (PRTR, 2007). La cantidad de Hg en un termómetro de vidrio al romperse y ser liberado puede estar en una cantidad de entre 0.5-2 g, pudiendo causar una considerable intoxicación. Su principal fuente de intoxicación es mediante inhalación o ingesta, con lo cual afecta sobre todo a los pulmones causando dificultad para respirar, pudiendo ser progresiva siendo causante de edemas pulmonares y neumonitis (Souto et al., 2012).

El mercurio se encuentra en la naturaleza en forma de mineral cinabrio, un sulfuro de Hg (Doadrio, 2009). A nivel de suelos el mercurio una vez acumulado, los microorganismos son capaces de metabolizarlo y transformarlo en metil-mercurio, siendo un compuesto muy tóxico para el sistema nervioso de los

organismos superiores que lo consuman (PRTR, 2007). Su forma más tóxica además del metilmercurio, es el detilmercurio, otro compuesto orgánico del metal (Catalá, 2015).

Las plantas pueden elevar su tasa de mortandad, o disminución significativa de su crecimiento por los niveles de Hg en sus órganos, siendo las raíces de estas las primeras en mostrar signos de daños, siguiendo hacia los demás tejidos y órganos. En las hojas el daño a los cloroplastos evita que la producción de clorofila se realice de manera óptima, alterando los procesos fisiológicos de la planta como la respiración (Catalá, 2015).

### 1.2.2 Elementos Traza

Este término surge como una necesidad de poder referir a los metales con pesos atómicos menores al de hierro y también a elementos no metales que tienen importancia al ser posibles contaminantes, ya que al mencionar “metales pesados” hace referencia a los elementos metálicos con un peso mayor al peso atómico de Fe (55.85 g/mol). Todos los elementos traza son tóxicos al ingerir por encima de los límites y de manera prolongada (Galán y Romero, 2008).

Los elementos “trazas” más abundantes en los suelos pueden clasificarse en cinco grupos de acuerdo con la forma química en la que se encuentran en estos, ya sean en cationes como  $\text{Ag}^+$ , metales nativos como el Hg, oxianiones como el  $\text{CrO}_4$ , halogenuros como el  $\text{Cl}^-$  y organocomplejos como el Selenio.

De estos existen 17 elementos traza que se consideran tóxicos para muchos suelos, como Ag, As, Bi, Cd, Co, Cu, Hg, Ni, Pb, Pd, Pt, Sb, Se, Sn, Te, Tl, y Zn. Finalmente, para la US Environmental Protection Agency (EPA) establece una lista de los trece elementos contaminantes prioritarios: Sb, As, Be, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Ag, Pb, Se, Ta, y Zn, si estos elementos sobrepasan su límite se vuelven agentes tóxicos (Galán y Romero, 2008).

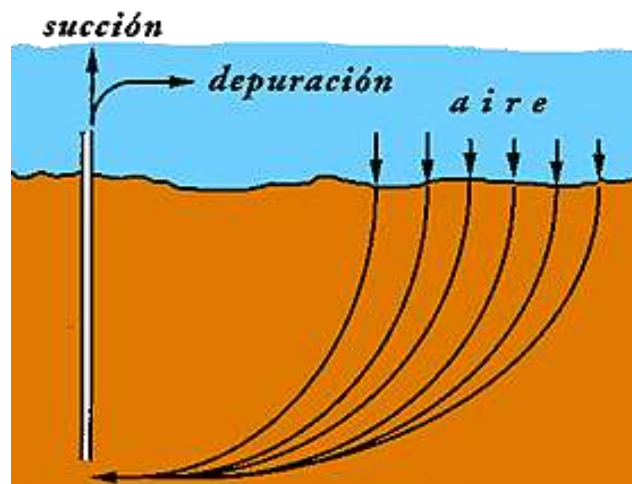
**Tabla 2-1:** Elementos traza de acuerdo con su forma química

Cationes	Metales nativos	Oxianiones	Halogenuros	Organocomplejos
$\text{Ag}^+$ , $\text{Cd}^{+2}$ , $\text{Co}^{+2}$	Hg, V	$\text{CrO}_4^{-2}$ , $\text{MnO}_4^{-2}$	$\text{F}^-$ , $\text{Cl}^-$ , $\text{I}^-$	Ag, As, Hg

Elaborado por: Guananga, J., 2022

### 1.2.3 Depuración del suelo

El suelo posee un poder amortiguador, es decir, que es capaz de controlar los efectos negativos de los contaminantes hasta cierto punto. Actúa como una barrera protectora, filtrando y descomponiendo, almacenando o desactivando los elementos tóxicos. Esta capacidad depuradora depende de la calidad del suelo en materia orgánica, carbonatos, arcilla, capacidad de intercambio catiónico, pH, textura, permeabilidad, entre otros. Cuando la “Capacidad de carga para Metales Pesados” LCASHM (por sus siglas en inglés) es superada, los efectos amortiguadores descienden o desaparecen pudiéndose convertir en un suelo contaminado, e incluso llegando a una carga crítica de toxicidad. Los valores para el Cd: 23-87 g/ha/a, Pb: 6750-10125 g/ha/a, y As: 450-675 g/ha/a son algunos de los ejemplos para la capacidad de carga de estos elementos (Galán y Romero, 2008).



**Figura 3-1:** Proceso de depuración del suelo por aire

Fuente: Domenech, 1995

Esta capacidad de los suelos pueden ser disminuidas por cambios en sus propiedades, siendo muy importante comprender como participan estas en la movilidad de los MP y tóxicos del suelo

### 1.2.4 Propiedades del suelo

Es importante conocer las propiedades del suelo para comprender como actúan los metales pesados en el mismo.

#### 1.2.4.1 pH

Es el principal factor para definir la movilidad de un catión y por tanto la biodisponibilidad del metal a las plantas, la mayor parte de estos elementos tienen afinidad por los pH ácidos con lo que favorece su solubilidad y la absorción de las plantas a través de las raíces. Al incrementar el pH y volverlo alcalino, no necesariamente disminuye la biodisponibilidad, sino que se forman precipitaciones de hidroxilos que pueden pasar a solución como hidroxicomplejos, por lo que lo ideal es mantener un medio ligeramente alcalino (Roca, [sin fecha]).

Esta propiedad tiene influencia sobre otros elementos del suelo:

- Participa en la biodisponibilidad del nitrógeno el cual depende de la mineralización de la materia orgánica mediada por microorganismos la cual se da en pH de alrededor de 7, en los que las bacterias encargadas de la nitrificación y fijación de nitrógeno trabajan de mejor manera. (Ramírez, 1997).
- La presencia de fósforo disponible se da entre valores de pH de 6.5 – 7.5 ya que, a valores inferiores, precipita con Al y Fe, mientras que a valores altos lo hace con el Ca. (Ramírez, 1997).
- La capacidad de intercambio catiónico origina mayores cargas negativas con el aumento del pH. (Ramírez, 1997).
- A pH más ácidos se ha evidenciado que se presenta una mayor solubilidad por ejemplo de Al y Mg, elementos capaces de causar toxicidad en plantas (Ramírez, 1997).

#### 1.2.4.2 *Textura*

Indica la cantidad de partículas de arena (2 – 0.02 mm), arcilla (0.002 mm) y limo (0.02 – 0.002 mm) que contiene un suelo, que influye tanto en la porosidad como en el movimiento de agua y aire entre este (Camacho et al., 2017). Esta propiedad determina la velocidad de infiltración del agua, el drenaje, etc. (Ramírez, 1997).

Son determinantes para la fuente de metales pesados, un suelo de textura fina es muy probable que provenga de minerales secundarios y estos son fuente principal de metales pesados, mientras que los suelos provenientes de minerales primarios poseen un contenido bajo de MP (Roca, [sin fecha]).

#### 1.2.4.3 *Materia orgánica*

Se compone de una basta cantidad de restos orgánicos como partes de plantas (hojas, flores, frutos o raíz) que se encuentran en contacto con la masa del suelo, además se encuentra masa microbiana y

restos de fauna de la zona (Meléndez y Soto, 2003). Esta propiedad presenta cierta afinidad por los metales como plomo, cobre, níquel, zinc, y al reaccionar con dichos elementos forman complejos aumentando su biodisponibilidad y mejorando la capacidad de migrar más fácilmente a las capas profundas del suelo (Roca, [sin fecha]).

Julca et al., (2006) mencionan que, la materia orgánica ayuda con los mecanismos de absorción de sustancias peligrosas como los plaguicidas, cloro fenoles y cloro anilinas. Mientras aumente la cantidad de materia orgánica en el suelo, aumenta la capacidad del suelo para absorber dichos compuestos.

#### 1.2.4.4 *Conductividad Eléctrica*

Esta propiedad física se refiere a la capacidad del suelo a transmitir la corriente eléctrica a través de sus partículas y, está estrechamente relacionada con la salinidad de éste. Cabe mencionar que la salinidad se refiere a la presencia de iones  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , y aniones  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , y  $\text{CO}_3^{2-}$ . Además, los metales son excelentes conductores eléctricos, por lo que al medir esta propiedad se puede tener un indicio de presencia de elementos metálicos contaminando el suelo. Muchos agricultores emplean técnicas como lavados para suelos muy salinos o implementación de elementos neutralizadores para los muy ácidos (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, [sin fecha]).

#### 1.2.4.5 *Densidad*

Es una propiedad que se define como la masa de los sólidos entre el volumen total de estos, ayuda en la determinación de la porosidad y distribución del tamaño de partículas del suelo. Su determinación más común se realiza a través de un picnómetro para densidad real, y mediante una probeta graduada para densidad aparente (Flores y Alcalá, 2010).

La densidad aparente representa la relación que existe entre la masa y el volumen de suelo, este último considerando todo el espacio poroso que existe en el medio, es decir el suelo como se encuentra con respecto a compactación, disponibilidad de agua etc. Valores de densidad aparente superiores a 1.6 tienen problemas de compactación, cuando los valores de densidad aparente disminuyen, las propiedades como la disponibilidad de agua y oxígeno, así como la penetrabilidad de sus raíces se ven afectadas (Ramírez, 1997).

La densidad real considera la relación el volumen que ocupa el suelo y el volumen de sus partículas sin considerar el espacio poroso. Un suelo con un valor de densidad real considerable es el arcilloso o arenoso con baja cantidad de materia orgánica (Ramírez, 1997).



### 1.3 El suelo como base para la seguridad alimentaria

Informes aseguran que la tasa de producción mundial de alimentos tendrá que aumentar un 60% para cubrir la necesidad de los más de 9 mil millones de habitantes que habrá para el año 2050. Situación preocupante ya que los recursos hídricos y edáficos no aumentarán y quizá suceda todo lo contrario.

Por este motivo, el manejo responsable de los recursos naturales es una acción que se debe dar de suma urgencia para poder lograr mencionado objetivo de garantizar la seguridad alimentaria nuestra y de las siguientes generaciones, siendo conscientes de la utilidad y buen manejo del agua, suelo y la recuperación de estos, en casos de contaminación (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 2017).

La contaminación del suelo significa una reducción en la productividad y calidad de los suelos afectando directamente a la seguridad alimentaria y poniendo en riesgo la producción de alimentos seguros, de calidad y nutritivos (Food and Agriculture Organization, 2018). Actualmente el suelo fértil está decayendo y en varios estudios mencionan que esta problemática se está tornando grave. Datos informan que alrededor de 50 mil kilómetros cuadrados se pierden anualmente a nivel mundial, realidad que va a condicionar la seguridad alimentaria de todos los habitantes, pues el 95 % de todos los alimentos se generan de la producción agrícola en el suelo (Observatorio del derecho a la alimentación de España, 2015).

Un contaminante sea tóxico o altamente tóxico no tendrá el camino fácil para ingresar a la cadena alimentaria y ser causante de un riesgo para los consumidores, de hecho, Chaney agrupo según ciertas características a los metales que ingresan a la cadena trófica siendo un peligro importante para la salud humana (Rodríguez et al., 2019).

**Tabla 3-1:** Metales/ metaloides según su riesgo para la cadena alimentaria

Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Plata (Ag)	Mercurio (Hg)	Boro (B)	Arsénico (As)
Cromo (Cr)	Plomo (Pb)	Cobre (Cu)	Cadmio (Cd)
Estaño (Sn)		Manganeso (Mn)	Cobalto (Co)
Titanio (Ti)		Molibdeno (Mo)	Molibdeno (Mo)
Itrio (Y)		Níquel (Ni)	Selenio (Se)

Circonio (Zr)		Cinc (Zn)	Talio (Tl)
---------------	--	-----------	------------

**Fuente:** Chaney (1980); citado en (Rodríguez et al, 2019)

El grupo 1 supone un riesgo bajo de ingreso a la cadena alimentaria debido a que son poco absorbidos por planta a causa de su baja solubilidad, por tanto, su transferencia a los órganos comestibles de la planta es muy escasa y en consecuencia no ingresa a animales o humanos mediante la alimentación, esto siguiendo el principio de ingreso a la cadena trófica. En este sentido, los metales del segundo grupo suponen un riesgo medio-bajo al transferir a los tejidos comestibles con dificultad, sin embargo, si se los puede encontrar absorbidos por las raíces, siendo un riesgo mayor de contaminación para los animales herbívoros. Finalmente, los elementos del grupo 3 y 4 suponen un mayor riesgo de contaminación de la cadena alimentaria y por tanto un mayor riesgo de intoxicación para humanos y animales (Rodríguez et al., 2019).

Se ha demostrado que la presencia de metales como As, Cd, Pb y Hg alteran el metabolismo de los vegetales, disminuyendo la productividad en las cosechas, y en casos de mayor contaminación causan la muerte de la planta, esto por su puesto genera pérdidas económicas para los agricultores. Una contaminación por metales no solo pone en riesgo la seguridad alimentaria, también afecta recursos hídricos, estilo de vida rural y conlleva a enfermedades en las comunidades (Rodríguez et al., 2019).

Las principales características morfológicas en un cultivo de plantas con contaminación por metales debido a la alteración de sus procesos metabólicos normales son bajo índice de germinación, baja elongación de las raíces, disminución de procesos fotosintéticos en casos de contacto con plomo, ya que estos afectan a los cloroplastos directamente, y menor crecimiento en órganos como tallos, hojas y flores cuando se pone en contacto con el metal cadmio por la dificultad que este causa a la planta para absorber nutrientes (Rodríguez et al., 2019).

El cuidado para la mantención de “suelos sanos” para el futuro, es un concepto relativamente joven, años atrás no se discriminaba la importancia tan alta que tiene el conocer cómo se debería tratar este recurso de manera sustentable y obtener a cambio alimentos saludables para nosotros y futuras generaciones, siendo aprovechables todos los nutrientes que necesitamos adquirir de los vegetales que nos brinda el suelo. El abuso de la producción agrícola en los últimos años ha ocasionado un agotamiento de este recurso edáfico a tal punto de que se busca generar conciencia en cuanto a malas prácticas de siembra, tala de árboles, sedimentación, erosión quema de espacios y uso indiscriminado de fertilizantes químicos, además claro está en el cuidado y recuperación de suelos en caso de contaminación de cualquier tipo (García, 2020).

En un estudio realizado por Pérez et al., (2008), titulado “Concentración de Pb, Cd, Ni, y Zn en suelos contaminados y su transferencia a la pella de Brócoli”, se determinó los metales en los suelos y pellas de brócoli mediante espectrofotometría de absorción atómica, tomando muestras de 28 parcelas con riego de diferentes fuentes, además se cuantificó pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, nitrógeno y capacidad de intercambio iónico en el suelo. Las concentraciones de los metales analizados en las pellas fueron superiores al comparar con las del suelo, indicando así otras fuentes de metales en el cultivo además del suelo. La ingesta de Pb y Cd es inferior a la establecida por la FAO, refiriéndose a un estimado de 2.8 kg por habitante al año.

En china se determinó el dato de que cada año se eliminan cerca de 12 millones de toneladas de granos contaminados por metales pesados al año, siendo así causante de una pérdida económica de 2.5 millones de dólares anuales para los agricultores de ese país (Rodríguez et al., 2019).

#### 1.4 Riesgo de contaminación por metales pesados

Los MP se los considera perjudiciales para la salud, sin embargo, muchos se encuentran en nuestra dieta diaria, mismos que pueden provocar problemas en el organismo cuando existe una deficiencia o exceso de estos. Cabe mencionar que, los metales no pueden ser degradados por lo que deben ser disueltos y lixiviados, algunos son transportados en complejos solubles hasta ser parte de suelos, agua o plantas, ingresando así a la cadena alimentaria.

A continuación, se muestran algunos ejemplos de contaminación de alimentos por estos elementos químicos de alta densidad.

**Tabla 4-1:** Fuentes de contaminación de MP en alimentos

Origen de la contaminación	Metales pesados
Uso de insecticidas	Arsénico, Plomo, Cobre
De suelos arenosos	Silicio
Debido al almacenamiento	Cobre, Estaño, Plomo
Debido al procesamiento	Cadmio, Plomo, Estroncio
Suplementos alimenticios en dietas de animales	Cadmio, Arsénico y Hierro

Fuente: Londoño et al., (2016)

Los elementos metálicos de interés en el presente estudio se enfocan al cadmio, y mercurio que se caracterizan por ser de alto riesgo de contaminación y producen daños en la salud de los humanos y animales (Rodríguez et al., 2019).

En el año 2017, se realizó un estudio con el objetivo de determinar concentraciones de Hg, Cd, y Pb en 20 muestras de suelo en los alrededores de la Empresa Electroquímica de Sagua, que mediante el análisis por espectrofotometría de absorción atómica y el uso del método de la curva de calibración se evidenció que las muestras de suelo analizadas presentan contaminación por el metal mercurio, el cual se evidenció que superó los valores permitidos o de referencia para contaminantes de suelos en el país cubano (Quero et al., 2017).

#### ***1.4.1 Enfermedades causadas en humanos por Metales Pesados***

La intoxicación por estos elementos puede causar enfermedades en personas de cualquier rango de edad, sexo o etnia, sin embargo, se ha determinado que los grupos con mayor riesgo de contaminación son niños, mujeres embarazadas y adultos mayores o personas vulnerables con enfermedades que debiliten su sistema inmune (Vida Potencial, 2021, 5m52s).

Los metales pesados se incorporan al organismo de los mamíferos (como lo son el ser humano) a través de las plantas, las cuales a su vez fueron contaminadas previamente mediante el suelo, una vez en la cadena alimentaria, y debido a la similitud con los elementos traza las células del organismo los incorpora a su estructura molecular siendo causantes letales de daños en su estructura, provocando problemas graves de salud. A continuación, se mencionan varias de las enfermedades causadas por dichos contaminantes (Navarro et al., 2007).

##### ***1.4.1.1 Enfermedades causadas por contacto con cadmio***

Los principales síntomas que se presentan son bronquitis, hipertensión, daños vasculares que suponen una intoxicación por el metal Cd, son de mayor peligrosidad debido a la capacidad de este para acumularse dentro de los tejidos de plantas y animales, estos últimos presentan afecciones en sus órganos a nivel de riñones, causando nefrotoxicidad, daño en hígado y además en los órganos reproductores. Las alteraciones más graves que se presenta ante el contacto con el metal pesado se evidencian en alteraciones neurológicas, nefrotoxicidad y daño a nivel molecular en la estructura de

ADN y moléculas lipídicas en las que desplaza al Ca y Zn de las estructuras de ciertas proteínas asociadas a estas (Navarro et al., 2007).

#### 1.4.1.2 *Enfermedades causadas por contacto con arsénico*

Al igual que la intoxicación por cadmio, el arsénico afecta principalmente a las vías respiratorias aéreas, hasta llegar a los pulmones, donde es causante de bronquitis. Debido a la estructura química similar a la del fosfato, el arseniato puede afectar a nivel de rutas metabólicas alterando el glicólisis al desacoplar la fosforilación oxidativa causando un desbalance en la producción de lo que se busca en esta etapa metabólica que es energía (Navarro et al., 2007).

#### 1.4.1.3 *Enfermedades causadas por contacto con mercurio*

La forma más dañina del mercurio es el vapor de este metal, el cual puede ingresar al organismo y a través de la sangre llegar al área pulmonar y al cerebro, siendo causante sumamente peligroso de daños en este órgano tan importante. Las principales alteraciones se dan a nivel respiratorio y neurológico, un caso en particular se reportó en Japón donde peces que habitaban cerca de una fábrica de plásticos reportaban cantidades de entre 4000 y 20000 ppb de concentración de Hg, posteriormente estos animales fueron alimento de varios habitantes aledaños, quienes sufrieron las consecuencias de dicha intoxicación. Las personas en cuestión desarrollaron pérdida de visión progresiva, daño mental, parálisis y/o murieron en ciertos casos (Navarro et al., 2007).

#### 1.4.1.4 *Enfermedades causadas por contacto con plomo*

Este metal en particular tiene dos vías de ingreso al organismo de los animales, ya que por sus propiedades es capaz de ser inhalado o ingerido y ser acumulado. Uno de los principales signos de intoxicación por plomo es el padecimiento de anemia, por alterar la síntesis del grupo “hemo”, acompañado de síntomas propios de la enfermedad como náuseas, decaimiento, y vómito. Además, enfermedades muy importantes a considerar en este tipo de intoxicación es el daño nefrótico, neurológico y cáncer de riñón (Navarro et al., 2007).

### 1.4.2 *Estudios realizados en Ecuador sobre metales pesados en alimentos*

Durante la conferencia Internacional brindada por la FAO y OMS del 2014, se enfatizó en la importancia para la nutrición humana el mantener una alimentación sana y nutritiva, lo cual se logra garantizando y cuidando la inocuidad de los alimentos, siendo pieza clave en el desarrollo sostenible y sustentable de una comunidad. Hace un llamado a los gobiernos del mundo a mantener como prioridad en salud pública que los alimentos sean inocuos, y garantizar que los productores brinden en los mercados alimentos de calidad y libres de contaminación para los consumidores, además de cuidar que los alimentos sean manejados con responsabilidad en todas las etapas que conlleva llevar un producto a los hogares (Fiallos, 2017).

En su mayoría las contaminaciones de alimentos que producen enfermedades en el ser humano son de carácter infeccioso que es causado por la presencia de microorganismos como bacterias, parásitos o virus los cuales entran en el organismo a través del alimento causando patologías severas. Sin embargo, la intoxicación por sustancias químicas puede provocar enfermedades mucho más agudas de características más invasivas como el cáncer (Fiallos, 2017), a este seleccionado grupo pertenecen las contaminaciones de alimentos por metales pesados de los cuales se citarán a continuación.

Coyago y Bonilla (2016), en su trabajo denominado “Absorción de plomo de suelos altamente contaminados en especies vegetativas usadas para consumo animal y humano” concluyen que:

“Las semillas de acelga y alfalfa sembradas en suelos contaminados a propósito con Pb absorben continuamente el plomo, mientras que el amaranto sembradas en el mismo suelo presenta etapas de desintoxicación”

Fernández y Gonzáles (2009), en su estudio “Niveles de Mercurio en peces de Madre de Dios (Puerto Maldonado- Perú)” se evidenció que: 3 de las 10 especies estudiadas sobrepasan el límite establecido por la OMS de 0.5 ppm para la concentración por Hg.

Fiallos (2017), evidenció en su estudio sobre muestras de frutas y verduras, cultivadas en las parroquias de la provincia de Tungurahua como Huachi Grande, Izamba, Cunchibamba y Pilahuán, que los niveles de concentración de As, Cr, y Mg sobrepasan los límites permisibles por la normativa internacional y ecuatoriana, siendo alimentos que ponen en riesgo la salud de los consumidores y en tela de juicio la calidad de los productos que se comercializan en el mercado mayorista de la ciudad de Ambato.

Romero (2020) en su estudio de grado denominado “contaminación por metales pesados en alimentos en Ecuador meta-análisis” evidencia que los alimentos analizados presentaban mayores concentraciones de metales pesados (cadmio, mercurio, plomo, y arsénico) a los límites permitidos por la normativa ecuatoriana, de esta forma concluye que la población está expuesta a contaminarse con metales pesados en alimentos como *Gallus domesticus*, *Ostrea columbiensis*, *Amadara similis*, y *Sardinops sagax*.

Ballesteros (2011) en su estudio realizado en la ciudad de Quito-Ecuador, el cual se denomina “Determinación de la eficacia de *Azolla caroliniana* como matriz de hiperacumulación de metales pesados cuantificados” evidenció la actividad bioacumuladora de la especie de alga mencionada, con la que logro reducir las concentraciones de plomo y cadmio en soluciones acuosas en las que se trató con cantidad de metales pesados controlados y conocidos por el investigador, obteniendo un resultado de 85% de reducción de Pb y 65% para el Cd en el medio acuoso, y un poder de bioacumulación del alga *A. caroliniana* de hasta el 6.5% para plomo.

Ayala y Romero (2013) estudiaron la presencia de metales pesados en muestras de leche de vaca en la provincia del oro, mediante la técnica de absorción atómica con generación de vapor de hidruros, previa digestión de las muestras según lo indicado en normativa EPA (US Environmental Protection Agency) y AWWA (American Water Works Association). Sus resultados evidenciaron que las muestras de leche sobrepasaban por más del doble los valores establecidos para mercurio establecido en la NTE: 0009:2008 y en el caso de arsénico sus valores no sobrepasaron los límites permisibles de la misma norma ecuatoriana.

### **1.4.3 Factores de bioacumulación y transferencia de los MP en la planta**

#### **1.4.3.1 Factor de bioconcentración**

El factor BCF indica la capacidad de la planta para acumular MP en relación con la concentración de metales que se encuentran en el suelo. El valor por encima de la unidad indica que la planta acumula los metales dentro del órgano, mientras que un valor por debajo de la unidad señala que ésta excluye los metales de su interior. Para el cálculo del factor de bioconcentración, se realiza la relación entre la concentración del metal en la raíz sobre la concentración del metal en el suelo (Castro et al., 2018)

$$BCF = \frac{\text{Concentración MP en la raíz}}{\text{Concentración MP en el suelo}}$$

#### **1.4.3.2 Factor de traslocación**

Indica la absorción de metales pesados que ejercen las plantas a los órganos vegetativos con respecto a la raíz. Un valor TF mayor a la unidad señala la buena capacidad de transporte del metal desde la raíz

hasta los brotes u órganos de la planta, mientras que un valor inferior a la unidad indica un pobre transporte, en el que quizá los metales no pasen de las raíces o del rizoma (Castro et al., 2018).

$$TF = \frac{\text{Concentración MP en la parte comestible}}{\text{Concentración MP en la raíz}}$$

En el artículo “Metales pesado en leche de vacas alimentadas con alfalfa producida en suelos irrigados con aguas residuales en Puebla y Tlaxcala, México” una vez medidas las concentraciones de cadmio, plomo, níquel, cromo, cobre, zinc y arsénico en las muestras de suelo y alfalfa, se evaluaron los factores de la alfalfa BCF (<1) y TF (>1) indicando que la leguminosa es resistente a los MP y que muestra gran movilidad de los metales dentro de la planta respectivamente. Concluyendo que la alfalfa es una planta bioacumuladora de metales pesados y un medio de transferencia para animales o humanos al ser cultivada en suelos contaminados (Castro et al., 2018).

## 1.5 Marco legal

La Constitución de la República del Ecuador (2008) en su artículo 13 se refiere al derecho del acceso seguro y permanente a alimentos sanos y nutritivos, al igual que en su artículo 14 donde menciona que la población tiene el derecho a vivir en un ambiente sano que garantice el buen vivir y la sostenibilidad, así como la conservación de los ecosistemas y prevención contra daños medioambientales. El estado debe garantizar a los ciudadanos el derecho a salud, agua y alimentación, ambientes sanos y otros que sustenten el buen vivir, citado en el artículo 32 de nuestra constitución. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, [sin fecha])

En su capítulo III se establece la soberanía alimentaria como un objetivo que asegura a personas y pueblos alcancen la autosuficiencia alimentaria de forma permanente, y en el art. 281 se refiere al estado como responsable de proteger a la comunidad contra el consumo de alimentos contaminados que pongan en riesgo la salud de su pueblo.

La ley Orgánica del Régimen de la Soberanía alimentaria establece mecanismos para que el Estado cumpla con su obligación y garantice a su pueblo la autosuficiencia de alimentos sanos y nutritivos. En el art. 29 menciona que el estado es el responsable de desarrollar investigación científica y tecnológica en materia agroalimentaria, para mejorar la calidad de los alimentos, así como la inocuidad de estos y su productividad. Además, en su cuarto capítulo se menciona el propósito de promover una nutrición apta que proteja la salud de las personas y reducir de esta manera la probabilidad de contraer enfermedades causada por alimentos contaminados (Correa, 2016).



El COA (Código Orgánico Ambiental) garantiza el derecho de las personas a vivir en un ambiente sano, y contiene las garantías ambientales que se establece en la constitución ecuatoriana, para que se asegure la sostenibilidad, conservación y restauración del medioambiente. Dentro del quinto fin del COA se hace referencia a la regulación de actividades que generen impacto y/o daño ambiental, a través de normas que promuevan el respeto a la naturaleza, así como garantizar este derecho a las generaciones futuras (Correa, 2016).

Dentro del Proyecto de Código Orgánico del ambiente del registro oficial N° 983 en el título II, se menciona en el artículo 9 inciso 2, que el estado deberá promover el desarrollo y uso de tecnologías ambientales limpias y de energías no contaminantes de bajo impacto, para menorar el daño sobre el ambiente y los costos de tratamiento de una actividad productiva.

En el Registro Oficial Suplemento 387 emitido por el Ministerio de Ambiente Agua y Transición Ecológica, se menciona la norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados, en la que bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental se establece los criterios de calidad del suelo, demostrados en la tabla 5-1.

En cuanto a la normativa nacional deben cumplir con los parámetros establecidos en la norma Técnica INEN-CODEX 193 la cual se basa en la norma CODEX STAN 193-1995, donde se determinan los límites máximos permisibles de contaminantes como metales y toxinas presentes en los alimentos para garantizar la salud de la población ecuatoriana.

**Tabla 5-1:** Criterios de calidad del suelo

Parámetro	Unidades	Valor
Conductividad	uS/cm	200
pH		6 - 8
Arsénico	mg/kg	12
Azufre (elemental)	mg/kg	250
Bario	mg/kg	200
Boro (soluble en agua caliente)	mg/kg	1
Cadmio	mg/kg	0.5
Cobalto	mg/kg	10
Cobre	mg/kg	25

Cromo Total	mg/kg	54
Cromo IV	mg/kg	0.4
Cianuro	mg/kg	0.9
Estaño	mg/kg	5
Floururos	mg/kg	200
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:** Ministerio del Ambiente (2015)

Existen normativas internacionales las cuales se refiere también a hortalizas como la cebolla en este caso en específico, para otros alimentos y suelos, en las que destacan la norma de la Unión Europea, Legislación australiana, brasileña, la finlandesa, la rusa y la de Sudáfrica, mismas que fueron adaptadas por Díaz para valores de concentraciones de metales como se indica en la tabla 6-1.

**Tabla 6-1:** Criterios de calidad del suelo y hortalizas.

MP	Suelo	Productos Alimenticios (mg/kg)						
		UE	Legislación australiana	Legislación brasileña	Codex Alimentarius	Finlandia	Rusia	Sudáfrica
Cd	0.5	0.1 hortalizas de raíz y tubérculo y tallos jóvenes	0.1 hortalizas de hojas/ raíces y tubérculos	1	0.1	-	0.03	0.05 Frutas y hortalizas
Co	10	-	-	-	-	-	-	-
Cu	30	-	-	5	-	10	-	5 Zumos de hortalizas frutas y néctares
Ni	20	-	-	5	-	-	-	-
Pb	25	0.3 Hortalizas	0.1 Hortalizas (excepto Brassica)	0.5 Hortalizas	0.1 Raíces y tubérculos	1 Papa, pepino, fresa y uva	0.5 Hortalizas / frutas	0.1 Frutas y otras hortalizas
Zn	60	-	-	-	-	-	-	5 Zumos de hortalizas, frutas y néctares

Fuente: Díaz (2014) ; citado en Briceño et al. (2020)

## 1.6 Biorremediación y Compostaje

### 1.6.1 Biorremediación

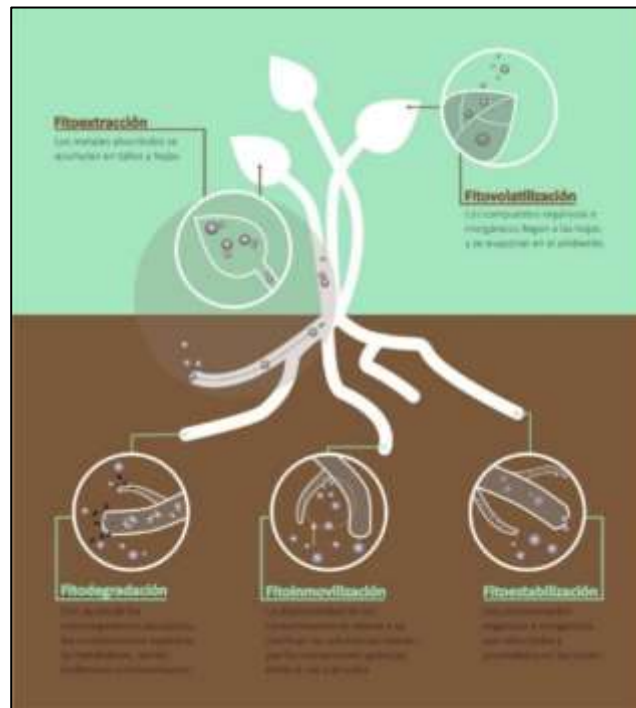
Es un concepto que hace referencia al uso de organismos vivos autóctonos o exógenos para degradar o transformar compuestos orgánicos tóxicos mediante el metabolismo en productos menos tóxicos o inocuos, pudiendo realizarse en el mismo sitio o fuera de él. Estudios realizados en Estados Unidos de Norte América informan que la biorremediación en tratamiento de suelos contaminados ha aumentado en los últimos años, debido a los costos reducidos contra otros métodos del mercado, sin embargo, la eficiencia del método dependerá en muchas ocasiones del tipo y proporción del agente contaminante con el que se va a tratar (Velasco y Volke, 2003).

#### 1.6.1.1 Fitorremediación

Surge como una alternativa contra la creciente contaminación de suelos por actividades industriales, minería, agropecuaria o contaminación natural, en la que se busca remediar los efectos causados por estas. Los métodos tradicionales implican grandes costos para su implementación y pueden afectar irreversiblemente a las propiedades del suelo, agua y seres vivos, por lo que la fitorremediación es considerada como un tratamiento amigable con el ambiente, y reduce *in situ* la contaminación de los compuestos que afectan la zona del cultivo, a través de los procesos bioquímicos propios de la planta con ayuda de microorganismos que interactúan con ellas. Por tanto, esta tecnología utiliza material vegetal para estabilizar, remover, reducir, degradar, volatilizar o transformar elementos contaminantes que se encuentran en el suelo (Pérez, 2014).

Tal como se muestra en la Figura 4-1, la planta actúa mediante mecanismos que se encargan de transportar los metales al interior de la planta y actuar contra ellos. Debido a la capacidad de ciertas plantas para acumular MP en sus órganos, algunas llegan a concentrar al menos 100 µg/g de metales como Cr, Ni y Pb, a las que se las conoce como hiperacumuladoras (Delgadillo et al., 2011).

La fitorremediación puede ser de diferentes tipos, la asistida por agentes quelantes como el ácido etilendiaminotetraacético que se encarga de atrapar y solubilizar los metales del suelo para después acumularlos en la parte aérea de las plantas. Otra forma es la fitovolatilización donde los contaminantes se acumulan en los tejidos aéreos de las plantas las cuales transforman en compuestos volátiles para posteriormente liberarlos a la atmósfera (Ballesteros, 2011).



**Figura 4-1:** Mecanismos de fitorremediación de la planta

**Fuente:** Zambrano (2019)

La fitofiltración usa las plantas como biofiltros por los cuales pasa el agua contaminada con el objetivo de retener y remover los metales los cuales se adhieren a la pared celular de la biomasa vegetal, finalmente acumulada la capacidad de retención de la columna del material vegetal es necesario desprender el metal por diferentes métodos (Ballesteros, 2011)

La técnica más conocida es la fitoacumulación, cuya actividad se da mediante el cultivo de plantas tolerantes a altas concentraciones de contaminantes los cuales son adsorbidos y bioacumulados en las partes aéreas de los vegetales. Los metales se obtiene al finalizar la cosecha de los vegetales donde están retenidos y pueden ser recuperados (Ballesteros, 2011).

### 1.6.2 Compostaje

Es un proceso biológico por el que residuos orgánicos se convierten en materia orgánica madura, es decir, el compost generalmente se emplean en tratamientos de residuos agrícolas. Es una medida económica para combatir y recuperar suelos contaminados con distintos elementos. Básicamente en la biorremediación del suelo se busca la reducción de los contaminantes con la mezcla de esta enmienda orgánica en el suelo para que actúe la microflora de la composta. En este proceso es muy importante

controlar parámetros como la aireación, la temperatura, la humedad, el pH, y la relación carbono-nitrógeno (Velasco y Volke, 2003).

En temas de biorremediación de los suelos, para Velasco y Volke (2003), el compostaje es el proceso biológico para tratar suelos y sedimentos contaminados por componentes orgánicos biodegradables.

El producto final del compostaje contiene micronutriente y macronutrientes de buena calidad libre de patógenos, que hacen que el suelo aumente sus elementos nutritivos que a priori beneficiará a las plantas y organismos de un suelo.



**Figura 5-1.** Biorremediación de suelos contaminados a base del excremento

**Fuente:** Tamashiro (2019)

#### 1.6.2.1 *Parámetros de compostaje*

El control del proceso es clave para que un compostaje sea el adecuado, en cuanto a los parámetros que determinan la calidad de dicho proceso están el pH, la humedad, aireación, temperatura, y relación carbono-nitrógeno.

La humedad adecuada se encuentra entre los 45 – 60 %, en cuanto a la aireación un porcentaje de alrededor del 5-15 % del oxígeno es el adecuado para que los microorganismos aerobios del sustrato puedan desarrollarse con normalidad, para la temperatura esta es variable y puede llegar a un límite de 65°C, por otra parte el valor de pH adecuado para el proceso de compostaje va desde 5.8 hasta 7.2 en los que se da la mayor actividad de los microorganismos, finalmente la relación carbono-nitrógeno adecuada es entre 15:1 a 35:1 mayor a este valor se debe a que la pila contiene mayor cantidad de

carbono lo cual hace que el proceso pierda temperatura y se vuelva lento, por otra parte un valor menor a este la temperatura aumenta excesivamente (Rivadeneira, 2018) .

Una prueba con la cual se evalúa la calidad del compost obtenido es desarrollada por Franco Zucconi, el cual determina la madurez del compost, así como las propiedades fitotóxicas de los compuestos, esta técnica usa el extracto del compost para evaluar en la germinación de las semillas, por lo general del berro, la cual es comparada con un “blanco” que se lo realiza con agua destilada. Esta prueba es superada si se supera al 80% (Rivadeneira, 2018).

#### 1.6.2.2 *Sistemas de compostaje*

En términos generales los sistemas de compostaje pueden ser abiertos o cerrados. Existen distintos diseños de compostaje que, de acuerdo con el tiempo de proceso, volumen del sistema y gasto energético puede determinarse el más apto para lograr resultados de calidad y en un tiempo adecuado en una planta de tratamiento de compostaje.

Los sistemas abiertos son los más usados por la necesidad de un bajo presupuesto para ejecutarlo y un fácil diseño ya que pueden estar al aire libre y requiere únicamente de un techo para proteger del sol y lluvia. La técnica se basa en la acumulación de residuos en pilas.

De acuerdo con las pilas puede haber de pila móvil cuando el volteo se lo realiza de forma mecánica, su control de temperatura no es preciso y son menos efectivos que los estáticos en cuanto a la eliminación de los patógenos, sin embargo, su ventaja es que mejora la homogenización de los materiales gracias a sus volteos constantes y reduce efectivamente el tamaño de partícula reduciendo la pérdida de agua (Rivadeneira, 2018).

En cuanto al sistema de pila estática, como su nombre lo indica, el lugar de la pila no se va a mover, y mediante el método Rutgers se airea la pila mediante presión a temperatura elevada, lo cual evita la destrucción de los microorganismos de la pila. Por su falta de volteo la pila tiene una falta de homogenización de sus materiales. Es más efectivo cuando se combina con el sistema de volteo con el cual se obtiene un compostaje de calidad (Rivadeneira, 2018).

Los sistemas cerrados son poco usados en la actualidad por sus altos gastos en cuanto a inversión y mantenimiento, aunque sus beneficios como el control de olores y tiempos de proceso son altamente rendidores.

En estos sistemas se puede manejar en reactores verticales u horizontales. Los sistemas verticales pueden ser continuos o discontinuos, en cuanto a los primeros el residuo o material de compostaje se coloca una sola vez y permanece durante dos semanas en un ambiente cerrado herméticamente y aislado térmicamente. Los discontinuos por su parte, el residuo es añadido de manera progresiva durante el proceso de compostaje y es colocado por la parte superior del reactor vertical. Para los volteos se emplean sistemas mecánicos los cuales se encargan de realizar esta función en los tanques (Rivadeneira, 2018).

Los reactores horizontales al igual que sus similar vertical posee dos subtipos que puede ser dinámico en el cual el sustrato pasado 21 días es extraído y vuelve a entrar nuevamente en los reactores, mientras que el sistema estático el sustrato permanece hasta 30 días en el reactor.

### 1.6.2.3 *Aplicaciones, ventajas y desventajas*

El trabajo con compostaje para la recuperación de suelos contaminados supone una alternativa exitosa en la remoción de contaminantes tóxicos, siendo un sistema económico, simple y amigable con el ambiente. La tecnología efectiva del compostaje produce la detoxificación de los contaminantes, mientras que otras como el lavado o el confinamiento, solamente lo remueven de un lugar a otro. (Velasco y Volke, 2003)

Entre las desventajas que se puede evidenciar es la limitancia a degradar únicamente contaminantes orgánicos. Las concentraciones demasiado altas pueden alterar el proceso de biodegradación, habiendo la recomendación de que en hidrocarburos no se sobrepase en contaminación de una concentración de 50000 ppm y para MP no mayor a 2500 ppm (Velasco y Volke, 2003).

## **1.7 Espectrofotometría de absorción atómica**

Es una técnica espectroscópica con la cual se determina y cuantifica metales, mediante métodos de emisión, absorción y fluorescencia de la radiación que emplea el equipo a través de vapor (Morales y Erazo, 2020). El método de EAA transforma una muestra en vapor y mide la radiación absorbida por los átomos que se generan. Ocurre cuando los átomos de un elemento en estado fundamental absorben y emiten energía a una longitud de onda específica, cuando el número de átomos del elemento aumenta la absorción será mayor. Una vez que esto sucede se evidencian picos debidos al paso de nivel de energía electrónica del estado fundamental al excitado, proceso conocido como longitud de resonancia (Razmilic, [sin fecha]).



La espectroscopía de absorción atómica (EAA) es una técnica rápida y sencilla que permite detectar metales la cual se basa en la radiación de una longitud de onda conocida por los átomos libres, para esto los analitos se los trata sometiendo a un proceso de digestión, luego succionada a través de un capilar y convertida en un aerosol es decir se encuentra en un medio gaseoso para su nebulización, para ello es necesario se combinan tanto el gas oxidante como el combustible lo cual permite que la llama se active y esta pueda ser atacada por un haz de radiación a una longitud de onda la cual da paso a la atomización. Esta radiación es absorbida por átomos con niveles de energía en los cuales su diferencia energética indica la energía de fotones incidentes (Morales y Erazo, 2020).

### ***1.7.1 Tipo de llama en EAA***

En el uso de las llamas se utilizan combinaciones de combustibles, la primera llama se compone de un combustible y un agente oxidante, y la segunda llama es el gas portador el que se quema al contacto con el aire, esta segunda llama es de menor temperatura que la primera pues tiene como agente oxidante el aire y óxido nitroso, y como combustible propano acetileno o hidrógeno.

La combinación de acetileno y aire es la más estable y fácil de controlar para obtener mayor sensibilidad en la detección y es la razón por la cual es la de mayor empleo en la determinación de más de treinta elementos en su capacidad de lectura. Otra llama empleada es la mezcla de óxido nitroso y acetileno, la presencia de un radical gaseoso elimina el oxígeno y genera temperaturas altas que promueve la disociación del analito (Morales y Erazo, 2020).

### ***1.7.2 Atomización de la muestra***

Como primer paso la muestra debe estar en forma de un aerosol, para lo cual se pasa a través de un nebulizador y una cámara de pulverización antes del quemador. La muestra es absorbida por el equipo a través de un capilar con presión reducida, esta se rompe en pequeñas gotas en su paso para generar un aerosol, luego pasa a la cámara de pulverización que homogeniza todos los aerosoles y gases con las que se elimina las gotas de mayor tamaño antes de llegar a la llama (Morales y Erazo, 2020).

El aerosol alcanza la llama las gotas se fraccionan, fusionan y finalmente se evapora, de acuerdo con el número de sus partículas y su dimensión, así como la mezcla de la llama y su composición determinara la eficacia de este método. La descomposición de las moléculas del analito es inmediata debido a que sus moléculas se descomponen inmediatamente en átomos individuales (Morales y Erazo, 2020).

## **CAPITULO II**

### **2 MARCO METODOLÓGICO**

#### **2.1 lugar de estudio**

El estudio de biorremediación se realizó en el espacio físico brindado por la fundación “San Juan Bautista” ubicada en el cantón Mocha provincia del Tungurahua.

##### **2.1.1 Límites**

El cantón Mocha tiene como límite norte la unión de las carreteras Yanahurco con la Panamericana, cerca de Santa Lucía bajo. Al sur limita con el río que lleva el nombre del cantón y con la loma chilla bullo chico. Al este se encuentra limitado con la unión del río mocha con la quebrada Hualcanga. Y finalmente, al límite oeste se encuentra el nevado Carihuayrazo con una altura de 5020 metros sobre el nivel del mar (Municipio de Mocha, [sin fecha]).

##### **2.1.2 Condiciones climáticas**

El cantón Mocha se encuentra ubicado por sobre los 3280 m.s.n.m y con una superficie de 82 km<sup>2</sup> es un territorio con característica climática de páramo con una baja temperatura que ronda por debajo de los 10 °C de aspecto muy variado durante el día en cuanto a humedad y precipitaciones. Cuenta con dos parroquias, la Matriz y Pinguili de similares características (Municipio de Mocha, [sin fecha]).

##### **2.1.3 Ubicación Geográfica**

Latitud: 1.42 sur

Longitud: 78.66 Oeste

N -1° 24' 35''

E -78° 41' 19''



**Figura 1-2:** Ubicación Geográfica del Cantón Mocha

Realizado por: Guananga J., 2020

## 2.2 Técnicas y Métodos

### 2.2.1 Trabajo de campo

#### 2.2.1.1 Arado del terreno

Previo al uso del terreno se realizaron trabajos de limpieza y remoción de la maleza que presentó el suelo, además, se aró el terreno con el fin de roturar la parte más superficial del terreno y se excavó hasta la zona más oscura o húmeda del mismo. Para ello se requirieron el uso de recursos humanos para una rápida limpieza con azadón.

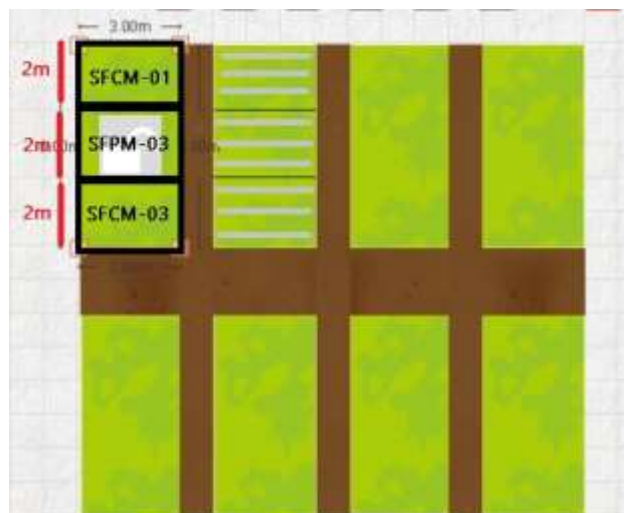


**Figura 2-2:** Arado de terreno con tractor

**Realizado por:** Guananga, J, 2022

### 2.2.1.2 *Diseño de parcelas*

Para el diseño y distribución de las parcelas se tomó en cuenta las dimensiones del terreno del estudio, también se consideraron la cantidad de parcelas de acuerdo con los tratamientos empleados (cebolla sin tratamiento y cebolla con compost) y las réplicas de cada uno (tres réplicas). Finalmente, la cantidad de plántulas por parcela que se requerían sembrar considerando el espacio entre planta y planta citada en bibliografía (20- 25 cm).



**Figura 3-2:** Diseño de parcelas

**Realizado por:** Guananga, J, 2022

Así, se obtuvo la distribución de 6 parcelas de 2 m de largo por 3 m de ancho, además se consideró pasillos de 1 m a lo largo del terreno y un pasillo de 2 m a lo ancho del mismo para facilitar el riego de este. En cada parcela se prepararon tres caballones con una separación de 50 cm entre cada uno de ellos para el sembrío de 12 plántulas en cada caballón, dando un total de 36 plántulas por parcela, sumando así la cantidad 216 plántulas cebolla.



**Figura 4-2:** División de las parcelas

Realizado por: Guananga, J, 2022

### 2.2.1.3 Distribución de los tratamientos

Para la disposición de los tratamientos en el terreno se consideró tomar una distribución aleatoria simple, con lo cual se dispusieron los códigos de acuerdo con los resultados de la distribución. Como se mencionó anteriormente se manejaron 2 tratamientos diferentes (sin tratamiento y compost) y con tres réplicas de cebolla. En cuanto a la codificación se designaron de acuerdo con las características del tratamiento y de la materia vegetal a sembrar. (Tabla 2-1)

**Tabla 1-2:** Codificación de cada parcela

<b>SCM-01</b>	<b>SUELO CEBOLLA MOCHA/PRIMERA RÈPLICA</b>	<b>SCCM-01</b>	<b>SUELO CON COMPOST CEBOLLA MOCHA /PRIMERA RÈPLICA</b>
<b>SCM-02</b>	<b>SUELO CEBOLLA MOCHA/SEGUNDA RÈPLICA</b>	<b>SCCM-02</b>	<b>SUELO CON COMPOST CEBOLLA MOCHA /SEGUNDA RÈPLICA</b>
<b>SCM-03</b>	<b>SUELO CEBOLLA MOCHA/TERCERA RÈPLICA</b>	<b>SCCM-03</b>	<b>SUELO CON COMPOST CEBOLLA MOCHA /TERCERA RÈPLICA</b>

Realizado por: Guananga J., 2022

**Tabla 2-2:** Distribución aleatoria de las parcelas

SCCM-03	SCM-02	SCM-03
SCM-01	SCCM-01	SCCM-02

Realizado por: Guananga J. (2021)

#### 2.2.1.4 Enmiendas, surcado del terreno y siembra de la materia vegetal

Una vez distribuido el terreno se aplicó la enmienda de compostaje correspondiente a cada parcela, conociendo que se requiere 135,5 Kg N/ha, se realizaron los cálculos determinando que en las parcelas de compost se debe aplicar 7,667 Kg de este.

Posterior a esto se realizó un integrado rápido con el terreno, para armar los caballones, tomando en consideración que se debían colocar 36 plántulas por cada uno. Se construyeron tres por parcela, cada uno de 30 cm de ancho, suficiente espacio para el posterior aporcado.



**Figura 5-2:** Aplicación de enmienda al terreno

Realizado por: Guananga, J, 2022

La materia vegetal que se utilizó en el estudio fue cebolla, la cual requiere un espacio de entre 20-25 cm de distancia entre planta y planta, por lo que, se sembró 12 plántulas en cada caballón considerando la distancia mencionada. Finalmente, se regó el terreno con cuidado para no lastimar las plántulas sembradas y que puedan enraizarse al suelo sin problemas.



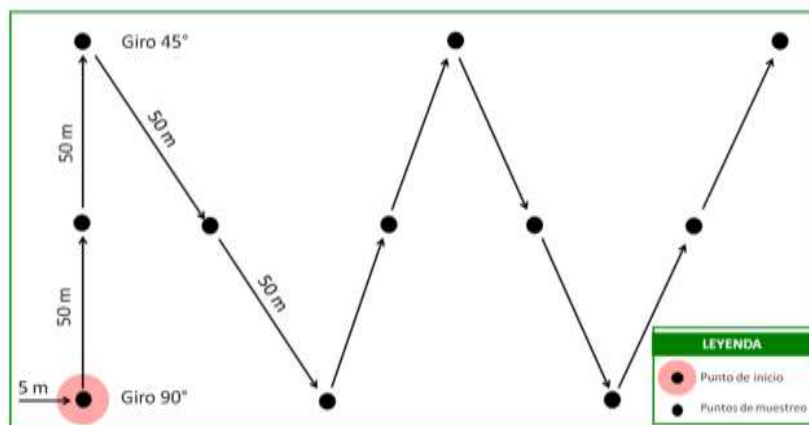
**Figura 6-2:** Siembra de plántulas

Realizado por: Guananga, J, 2022

## 2.2.2 Muestreo Terreno

### 2.2.2.1 Muestreo Inicial de suelo

El muestreo inicial se lo realizó una vez finalizada la limpieza y roturación del terreno, y previo a la división en parcelas. Para la toma de muestra de suelos se optó por el método de muestreo en zig-zag, obteniendo así la muestra más representativa posible considerando distancias uniformes a lo largo de todo el terreno y, cumpliendo con la aleatoriedad del estudio.



**Figura 7-2:** Muestreo en zigzag

Fuente: Lupafilitoxia, 2019



**Figura 8-2:** Toma de muestras de suelo S<sub>0</sub>

**Realizado por:** Guananga, J. 2022

Para este cometido, primero se establecieron el punto de partida y los demás puntos de muestreo, en los cuales se extrajeron las muestras a una profundidad de 40 cm con la ayuda de un barreno. Posteriormente, la muestra se almacenó en una funda ziploc hasta completar 2 kg de muestra compuesta la cual fue codificada como S<sub>0</sub> y registrada con la fecha del muestreo. Se dejó secar al ambiente por 15 días, se tamizó a 2 mm y finalmente se eliminó el agua restante en la estufa a 105 °C por 24 horas.

#### 2.2.2.2 *Muestreo de suelo antes de la siembra*

Una vez realizada las divisiones del terreno en parcelas con sus respectivos tratamientos, estos fueron identificados mediante letreros con los códigos respectivos. Después, se tomó, con la misma metodología zig-zag (figura 5-2), muestras de cada una de las parcelas por separadas, siendo almacenadas en fundas ziploc hasta obtener las 6 muestras individuales de todo el terreno, se codificaron con la designación S<sub>1</sub> y se llevaron al laboratorio para posteriores análisis. La muestra se dejó secar al ambiente por 15 días, se tamizó a 2 mm y finalmente se secó por completo en estufa a 105 °C por 24 horas.





**Figura 9-2:** Toma de muestras de suelo S1

Realizado por: Guananga, J, 2022

### 2.2.2.3 *Muestreo de suelo después del cultivo*

Al finalizar el ciclo de cultivo (4 meses), nuevamente se recogieron muestras individuales del suelo de cada parcela aplicando la misma metodología para el muestreo, a las que se codificó como S<sub>2</sub>, se completaron 2 kg de muestra y se llevaron al laboratorio. Finalmente, se dejó secar al ambiente por 15 días, luego se tamizó a 2 mm y se llevó a estufa a 105 °C por 24 horas.



**Figura 10-2:** Toma de muestras de suelo S2

Realizado por: Guananga, J, 2022

#### 2.2.2.4 *Muestreo de la materia vegetal del terreno*

Cumplido los 4 meses del ciclo desde la siembra, se cosechó la materia vegetal que se sembró (cebolla), con cuidado para no dañar las plantas y usando un azadón se extrajeron las plantas enteras (raíz, tallos y hojas), se las separaron por cada parcela y además por cada caballón. Después, cada montón de cada uno de los caballones fueron pesados en kg, y finalmente de cada caballón se separó una planta representativa con la cual se realizaron los análisis de parámetros de calidad comercial, mientras que el resto de las plantas se las reservó en fundas ziploc.



**Figura 11-2:** Cosecha primer cultivo

Realizado por: Guananga, J, 2022

### 2.2.3 *Trabajo de laboratorio*

#### 2.2.3.1 *Evaluación de los parámetros comerciales*

La materia vegetal se trasladó desde el terreno hasta el laboratorio donde fueron lavadas con agua potable, separadas en sus órganos, y nuevamente lavadas en agua destilada para eliminar cualquier impureza. Se evaluaron los parámetros de calidad comercial, que son una serie de propiedades medibles en la planta, para determinar si el vegetal está en excelentes condiciones para el consumidor. Entre los que cuales más resaltan es el tamaño del vegetal, el diámetro de este y el peso del cultivo individual y en general, ya que son parámetros propios de una cosecha apropiada.



**Figura 12-2:** Parámetros de calidad de la planta

Realizado por: Guananga, J, 2022

### 2.2.3.2 *Secado de materia vegetal*



**Figura 13-2:** Secado de material vegetal

Realizado por: Guananga, J, 2022

Se eliminó la humedad llevando la materia vegetal a la estufa de secado a 50 °C por 48 horas. Las plantas secas se las trituro en molino y reservó en fundas ziploc correctamente codificadas con su respectivo código de la parcela, el número del caballón y el órgano correspondiente.

## 2.2.4 Pruebas físicas del suelo

### 2.2.4.1 Densidad aparente del suelo



**Figura 14-2: Densidad aparente**

Realizado por: Guananga, J, 2022

En una probeta de 50 mL se colocaron 30 gramos de muestra de suelo seco y de 2 mm de tamaño de partícula, luego sobre una superficie cubierta con un a franela se dieron pequeños golpes para compactar el suelo y se observó en qué medida de la probeta se mantiene (Andrades et al., 2015). Se aplica la fórmula:

$$Da = \frac{\text{peso del suelo seco}}{\text{volumen que ocupa}}$$

### 2.2.4.2 Densidad real

Se colocó un picnómetro en la estufa a 105 °C hasta peso constante, el peso obtenido de este es el P1, luego se añadieron 5 gramos de suelo seco y tamizado, el peso del picnómetro más el suelo es P2, posteriormente, se añadió agua destilada hasta el borde que indica el picnómetro, se agitó con cuidado para eliminar burbujas y se aforó nuevamente, se pesó para obtener el P3, finalmente se lavó el

picnómetro y se midió el peso únicamente con agua destilada para obtener P4 (Andrades et al., 2015). Se aplicó la siguiente formula:

$$Dr = \frac{P2 - P1}{(P4 - P1) - (P3 - P2)}$$



**Figura 15-2:** Densidad Real

Realizado por: Guananga, J, 2022

#### 2.2.4.3 *Textura del suelo*



**Figura 16-2:** Determinación de textura por método de Bouyoucos

Realizado por: Guananga, J, 2022

Se inició pesando en un vaso 100g de suelo seco de 2 mm de tamaño de partícula, se añadieron 10 mL de agente dispersante (20 g de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> sodio + 75 g de NaPO<sub>3</sub>, en 1.62 L de agua). Se añadieron 200 mL de agua, y se agitó por un minuto, para posteriormente dejarlo en reposo durante 24 horas. Se trasvasó la mezcla a una probeta de 1000 mL y se aforó ésta con agua destilada hasta la señal de 1000 mL, se agitó la probeta para que se suspenda las partículas de suelo en el agua y se midió con el hidrómetro de Bouyoucos sumergiéndolo y cronometrando el tiempo. Se registró inmediatamente al momento que el cronómetro marcó 40 segundos, se registró la temperatura y se obtuvo así el primer dato. La segunda lectura se realizó 2 horas después de dejar en reposo, se sumergió el hidrómetro y en 40 segundos se registró la segunda lectura (Gupta et al., 2012).

El resultado se obtuvo empleando las fórmulas y guiándonos de la figura 15-2:

$$\% \text{ arena} = 100 - ((\text{primer dato} / \text{g de muestra}) * 100)$$

$$\% \text{ arcilla} = (\text{segundo dato} / \text{g de muestra}) * 100$$

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



**Figura 17-2:** Triángulo de textura

Fuente: CSR Laboratorios, 2019

### 2.2.5 Pruebas químicas del suelo

### 2.2.5.1 *pH*



**Figura 18-2: Medición de pH en suelo**

**Realizado por:** Guananga, J, 2022

En un vaso plástico se pesaron 20 gramos de muestra seca y tamizada, se añadió agua en una relación 1:2,5. Se mezcló por 10 minutos con varilla de vidrio, se dejó reposar por 30 minutos y finalmente se agitó antes de la lectura. Para obtener del valor de pH se introdujo con cuidado el electrodo, se dejó estabilizar y se registró el valor obtenido, después al electrodo se lo lavó con agua destilada y se secó con papel absorbente para finalmente conservarlo en su buffer (Gupta et al., 2012).

### 2.2.5.2 *Conductividad Eléctrica*

En un vaso de precipitación se pesaron 20 gramos de muestra preparada, se añadió agua destilada en una relación 1:2. Se mezcló vigorosamente por 10 minutos se dejó en reposo 30 minutos y se filtró la suspensión, a la misma se la mantuvo en agitación hasta la lectura en el equipo. Se introdujo el cátodo y ánodo y se registró el valor arrojado cuando se estabilizó. El cátodo y ánodo se los lavó con agua destilada y limpió con papel absorbente (Gupta et al., 2012).



**Figura 19-2:** Medición de CE en suelos

**Realizado por:** Guananga, J, 2022

### 2.2.5.3 *Carbono, nitrógeno*



**Figura 20-2:** Pesaje en microbalanza

**Realizado por:** Guananga, J, 2022

Previamente se trataron las muestras de suelo tamizándolas a través de la malla de 0.5 mm, de esta se pesó en una micro balanza entre 0.5 y 1 mg de suelo y se compacta dentro de cápsulas de estaño de 9\*5 mm, las cuales fueron introducidas al equipo junto con los pesos correspondientes a cada muestra.



Previamente se debió realizar la curva de calibración con el mismo proceso, pero usando sulfanilamida como muestra.

#### 2.2.5.4 *Materia Orgánica*



**Figura 21-2:** Determinación de MO por calcinación

**Realizado por:** Guananga, J, 2022

Para la determinación de la materia orgánica del suelo, se partió con un crisol previamente tarado en estufa a 105°C por 24 horas o hasta peso constante (P1), posteriormente en este se colocaron 5 gramos de muestra de suelo preparada y se pesó (P2), luego se llevó a la mufla a 430°C por al menos 18 horas, pasado este tiempo se colocó en el desecador hasta que la temperatura se normalizó, se pesó en la balanza (P3), finalmente se realizó el cálculo de porcentaje de materia orgánica aplicando la fórmula (Andrades et al., 2015).

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

#### 2.2.5.5 *Polifenoles*

Para solución patrón se pesó 1 g de ácido gálico y se aforó a 1000 mL con agua desionizada, de esta solución se tomó 6mL y se aforó a 100 mL (se obtuvo una solución de 60 ppm). En diferentes balones aforados de 50 mL se colocaron 1, 2, 3, 4 y 5 mL de la solución patrón y se le adicionaron 2.5 mL de

reactivo Folin-Ciocalteu, luego se añadieron 5 mL de la solución de carbonato de sodio al 20% y se aforó a 50 mL con agua desionizada, se dejó en reposo y se midió a 725 nm.

Se prepararon extractos 1:20, es decir, 2 g de muestra de compost con 40 mL de agua desionizada en un tubo Falcón y se agitó durante 2 h, se llevó a centrifuga por 5 minutos a 3000 RPM. Se tomaron 0.25 mL del extracto y se aforó a 50 mL. Se realizó el mismo procedimiento con las muestras patrones y se llevó las muestras a lectura en el equipo (Beltrán et al.,1999).



**Figura 22-2:** Determinación de polifenoles

**Realizado por:** Guananga, J, 2022

#### 2.2.5.6 *Digestiones en ácido sulfúrico para K, P en suelo, y Na en materia vegetal*

En un Erlenmeyer se pesaron 2 gramos de muestra seca y tamizada, se añadieron 12 mL de  $H_2SO_4$  concentrado, luego se añadieron 0.18 g de  $CuSO_4$  y se dejó en reposo por 10 minutos. Se mantuvo cubierto el Erlenmeyer con vidrio reloj y llevó a reflujo hasta que el contenido se volvió transparente. Luego el extracto se aforó en un balón volumétrico de 100 mL y este a su vez se filtró en tubos falcón una vez se enfrió (Paneque et al., 2010).



**Figura 23-2: Digestiones en H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>**

**Realizado por:** Guananga, J, 2022

#### 2.2.5.7 Fosforo

Se empezó preparando dos soluciones (A y B), para la primera se colocaron 6g de molibdato de amonio + 20 mL de agua, + 0.1455 de tartrato de antimonio y potasio, y se agitó, se añadieron 70 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado, y se dejó enfriar, para finalmente aforar a 100mL. Para la solución B se pesó en un balón 13.2g de ácido ascórbico y se aforó a 100 mL. De ambas se forma la solución trabajo, se tomaron 17.5 mL de Sol. A + 400 mL de agua, se mezclaron con 5 mL de Sol. B y se aforó a 500 mL con agua destilada.

Para el estándar se preparó con KPO<sub>4</sub>H<sub>2</sub> una solución de 50 ppm de P y a partir de esta los patrones de 0.2, 0.4, 0.5, 1 y 1.5 ppm. Se tomaron 5 mL de cada patrón y se añadieron 5 mL de la solución trabajo, se dejó en reposo durante 15 minutos y se midió en el equipo la curva de calibración. Para las muestras se procedió de igual forma, pero se colocaron 5 mL de la muestra junto con 5 mL de solución trabajo (Paneque et al., 2010).

#### 2.2.5.8 Potasio

Se preparó una solución estándar de 10 meq/L de potasio a partir de KCl, de esta se prepararon soluciones patrón a concentraciones de 0, 0.5, 1, 1.5 y 2 meq/l, con lo que se realizó la curva de calibración. Se llevaron las muestras digestadas y se pasó a través del fotómetro de llama con que se determinó el valor para el cálculo de %K (Paneque et al., 2010).

### 2.2.5.9 Sodio

Se preparó una solución estándar de 175 meq/L de Na a partir de NaCl, de esta se formularon los patrones con concentraciones de 0, 21.88, 43.75, 87.5, 175 meq/L. Se leyeron los patrones para obtener la curva de calibración y posterior a ello se llevó las muestras digeradas al fotómetro de llama para obtener el resultado y realizar el cálculo de % de Na (Paneque et al., 2010).



**Figura 24-2:** Lectura de P, K y Na

**Realizado por:** Guananga, J, 2022

### 2.2.5.10 Digestiones ácidas para determinación de metales pesados

En un Erlenmeyer se pesaron 2 gramos de muestra preparada, se humedeció con 10 mL de ácido nítrico concentrado al 70% más 5 mL de HClO<sub>4</sub> (Proporción 2:1), se dejó en reposo por 24 horas, y luego de este tiempo se llevó a reflujo por al menos 8 horas en una cámara de flujo. Se mantuvo cubierto el Erlenmeyer con vidrio reloj y se controló la temperatura inferior 60°C de acuerdo con el punto de ebullición del reactivo registrado en la ficha técnica. Cada 3 horas de reflujo se añadieron 2 mL de peróxido de hidrógeno por las paredes del Erlenmeyer. Finalmente, el extracto se enfrió y aforó en un balón volumétrico de 50 mL con HCl 0.5 M y este a su vez se filtró en tubos falcón.

### 2.2.5.11 Cadmio

Se trabajó a partir del estándar de 1000 ppm, con el que se preparó una solución madre de 2 ppm en 100 mL, a partir de este se prepararon soluciones patrones de 0.02, 0.04, 0.06, 0.1 y 0.2 ppm añadiendo a cada balón 1, 2, 3, 5, y 10 mL respectivamente. Se corre en el equipo a una longitud de onda de 228 nm y se obtiene la curva de calibración. Finalmente, se leyeron las muestras digeradas obteniendo así las absorbancias para el cálculo



**Figura 25-2:** Lectura de Cd

Realizado por: Guananga, J, 2022

#### 2.2.5.12 Mercurio

Se partió del estándar de Hg de 1000 ppm para preparar una solución madre de 1000 ppb, con esta concentración se prepararon estándares de 4, 10, 20, 30 y 40 ppb en balones de aforo de 100 mL, colocando alícuotas de 0,4, 1, 2, 3 y 4 mL respectivamente, siendo aforados al volumen del balón indicado con una solución de HNO<sub>3</sub> al 2 %. Finalmente, se acopló el generador de hidruros con una solución que se preparó con NaBH<sub>4</sub> al 0.6 % la cual se aforó con NaOH al 0.5 % en un balón de 500 mL y otra solución de HCl al 10 % en 500 mL.

Se colocó la lámpara de mercurio en el equipo de absorción atómica, se acopló las soluciones a la bomba de generación de hidruros y se permitió el paso de gas Ar. Se estableció la longitud de onda para el análisis (253 nm) y se corrieron los estándares, con lo que se obtuvo la curva de calibración. Finalmente se corrieron las muestras para obtener las absorbancias resultantes.



**Figura 26-2:** Lectura de Hg

**Realizado por:** Guananga, J, 2022

## 2.2.6 *Pruebas biológicas*

### 2.2.6.1 *Índice de germinación*

Se humedeció la muestra de compost, añadiendo 3 mL de agua desionizada en 2 g de muestra, y se dejó en reposo durante 30 minutos. A este extracto se lo diluyó con 27 mL de agua desionizada para obtener el 10% y posteriormente esta solución se filtró en embudos Buchner al vacío.

En cajas Petri se colocaron papel filtro en la base y se añadieron 7 semillas de germinación junto con 2 mL del extracto acuoso, con 10 repeticiones de estas y un blanco de 10 repeticiones de semillas junto con agua destilada. Luego se colocaron las cajas en la estufa a 27.5 °C y a obscuridad por 48 horas, para después colocar 1 mL de mezcla de etanol con agua 1:1 para detener el crecimiento de las plantas, se dejó en refrigeración durante 10 min y finalmente se retiraron las semillas para cuantificarlas. (Zucconi, 1981).

Se aplicó la fórmula:

$$\%IG = (\%G * \%L) / 100$$



**Figura 27-2:** Medición de índice de germinación de Compost y Gallinaza

**Realizado por:** Guananga, J, 2022

## CAPITULO III

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 3.1 Parámetros físicos y químicos del suelo inicial

Se evaluaron los parámetros físicos y químicos del suelo inicial con el fin de establecer las condiciones de partida para el estudio, los resultados se presentan en la tabla 1-3 y tabla 2-3 siendo los resultados obtenidos las medias de cada uno de los análisis por triplicado correspondiente para cada parámetro evaluado.

**Tabla 1-3:** Resultados de parámetros físicos del suelo inicial

Muestra	pH	C.E	D.R	D.A	Textura			Tipo de suelo
		dS/m	g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	% de arena	% de arcilla	% de limo	
So_1	7.37	0.17	1.396	1.200	71.368	2.560	26.072	Areno francosa
So_2	7.27	0.19	1.263	1.156	70.404	3.560	26.036	Areno francosa
So_3	6.75	0.20	1.085	1.201	71.440	2.920	25.640	Areno francosa
<b>Total</b>	7.13	0.19	1.248	1.186	71.071	3.013	25.916	Areno francosa

Realizado por: Guananga J., 2022

So= Muestra de suelo inicial, **D.R**= Densidad real, **D.A**= Densidad aparente.

En el análisis de textura el suelo resultó ser areno francoso, obtenido mediante el triángulo textural y con ayuda de un hidrómetro de Bouyoucos de 0-60 g/L, con lo cual se registraron 71.071% de arena, 3.013% de arcilla y, 25.916% de limo, y en consecuencia se obtuvo el resultado final de la textura de este suelo.

En cuanto a la densidad aparente se obtuvo el valor de 1.186 g/cm<sup>3</sup> que se encuentra en una clasificación denominada “baja”, esto puede deberse a la granulación de los suelos que hacen que el espacio poroso aumente y por tanto disminuya el valor de la densidad aparente, además, según la bibliografía los suelos francos tienen a tener una densidad aparente de entre 1.3 a 1.4 g/cm<sup>3</sup> que es un valor muy cercano al que se obtuvo experimentalmente en el laboratorio, por lo cual podemos asumir que es un resultado fiable (Castillo, 2005). La densidad real del suelo fue de 1.246 g/cm<sup>3</sup> un valor muy bajo, característica propia de un suelo con alto contenido de humus en los que se mide alrededor de 1.3 g/cm<sup>3</sup> (Castillo, 2005).



En la normativa estadounidense EPA, se establece que el pH adecuado para el suelo va de 5.5 a 8. En los resultados del suelo inicial para el parámetro del pH fueron de 7.13 siendo valor de acuerdo con la norma internacional, y cercano a la neutralidad (Ministerio del Ambiente, 2015). En cuanto al valor de la conductividad eléctrica el resultado fue de 0.19 dS/m, resultado que también se encuentra dentro de los rangos establecidos para este parámetro, que sugiere en bibliografía contempla hasta los 4 dS/m. (Soil, 2014)

**Tabla 2-3:** Resultados de parámetros químicos del suelo inicial

Muestra	Macronutrientes				Aniones			
	C	N	K	P	Cl <sup>-</sup>	SO <sup>-</sup>	NO <sup>-</sup>	PO <sup>-</sup>
	%	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
S <sub>0_1</sub>	2.20	0.20	3077.42	1153.93	82.60	100.00	51.00	59.50
S <sub>0_2</sub>	2.19	0.17	2832.08	1031.68	87.10	98.70	56.20	54.80
S <sub>0_3</sub>	2.20	0.18	3009.40	1017.17	86.80	100.50	51.40	58.00
<b>Total</b>	2.20	0.18	2972.97	1067.59	85.50	99.73	52.87	57.43

Realizado por: Guananga J., 2022

S<sub>0</sub>= Muestra de suelo inicial, C= Carbono, N= Nitrógeno, K= Potasio, P= Fósforo, Cl=Cloruros, SO<sub>4</sub>= Sulfatos, NO<sub>3</sub>= Nitratos, PO<sub>4</sub>= Fosfatos.

El contenido inicial de macronutrientes en el suelo presentó 2.20 % de carbono, y 0.18 % de nitrógeno, con lo cual se pudo realizar la relación para el parámetro C/N, obteniendo así el valor de 12:1. Este contenido se encuentra en el límite inferior recomendado por (Mula, 2012), quien menciona que la relación óptima para este parámetro sería de 10:1 hasta 25:1 entre carbono e hidrógeno.

En cuanto a los valores para los macronutrientes potasio (K) y fósforo (P), los valores obtenidos fueron 2972.97 mg/kg y 1067.59 mg/kg respectivamente. Ferrando (2013) menciona los valores de referencia para estos nutrientes, siendo de 400 a 8000 ppm (mg/kg) para el elemento potasio (K) y de 100 a 1000 ppm (mg/kg) para el elemento fósforo (P). Estos valores demuestran que el contenido de potasio para las muestras de suelo inicial están dentro de los valores de referencia, mientras que para el elemento fósforo se encuentran ligeramente elevadas, probablemente propio del tipo de suelo fértil con el cual se partió el estudio.

### 3.2 Parámetros físicos, químicos y biológicos del Compost

La enmienda orgánica administrada en este estudio fue brindada por el grupo GAIBAQ de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, la cual se obtuvo mediante un proyecto realizado en la que se transformaron desechos agroindustriales de la provincia de Chimborazo en materia orgánica, con capacidad para aportar en cultivos, y además representar una alternativa limpia para la recuperación de suelos contaminados. Esta enmienda se la obtuvo mediante la técnica de compostaje en la ESPOCH, para el uso en este trabajo se realizaron pruebas químicas y biológicas para determinar su calidad y capacidad de aporte en nutrientes a los cultivos de cebolla, y cuyos datos servirán para realizar la comparativa final entre cultivos sobre suelo sin la administración de la enmienda y con la misma.

**Tabla 3-3:** Parámetros químicos y biológicos del compost

Muestra	Pruebas químicas				Pruebas biológicas
	pH	C.E (ds/m)	M.O (%)	P. fen (mg/kg)	I.G (%)
Comp_1	8.65	3.30	39.42	0.238	94.234
Comp_2	8.12	3.15	39.43	0.181	95.003
Comp_3	8.44	3.61	39.82	0.222	95.129
<b>Total</b>	8.40	3.35	39.56	0.214	94.789

Realizado por: Guananga J., 2022

Comp= Muestra de compost, C.E= Conductividad eléctrica, M.O= Materia orgánica, P. fen= Polifenoles, I.G= Índice de germinación

Los parámetros fueron evaluados por triplicado para las muestras de la enmienda orgánica del compost, en las que se determinaron las medias para los parámetros de pH, conductividad eléctrica (C.E), materia orgánica (M.O), polifenoles (P. fen), e índice de germinación (I.G), siendo estos los resultados que se contrastaron con normativas internacionales que se aplican como control de calidad para un material de compostaje.

Según la norma de calidad “PAS 100” de la BSI (British Standard Institution) establece parámetros para los diferentes aspectos químicos antes mencionados.

El pH es un parámetro que puede indicar el proceso de degradación del compost, normalmente un compost poco maduro tiende a tener un valor cercano a la alcalinidad, probablemente por la ausencia de un proceso de maduración u otra alternativa es que los materiales de partida o de inicio del compostaje eran de carácter alcalino (Chávez, 2015).

El resultado de pH para el compost es de 8.40, valor ubicado dentro de los valores de referencia, pues según la norma el valor para este indicador está entre 6.5 – 8.7, valores que se encuentran en concordancia con los valores establecidos en la normativa colombiana NTC 5167 donde se determina que el rango para el pH va desde 4-9, similar a la normativa chilena del año 2005, por lo que el compost

está por debajo de los índices máximos, pero tendiendo a ser alcalino (Tortosa, 2013). Para los resultados de pH alcalino se espera la presencia de compuestos carbonados como el carbonato de calcio, mientras que para un pH que se acerque a la neutralidad que sería lo óptimo para el uso en suelo, se espera un efecto fitotóxico mínimo (Yañez et al., 2007).

La medida resultante de la conductividad eléctrica del compost fue de 3.35 (dS/m) valor que se encuentra ligeramente por encima de la normativa inglesa BSI (British Standard Institution), la cual establece como límite máximo 3000-4000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  que a su conversión resulta ser 3-4 dS/m. Este valor sugiere un nivel de salinidad adecuado en el material, sin embargo, este parámetro deberá ser controlado para evitar la inhibición de germinación de semillas de plantas y/o un futuro condicionamiento en el crecimiento de la planta, debido a que este parámetro influye directamente en esta función (Rivas y Silva, 2019).

El porcentaje promedio de materia orgánica en la enmienda orgánica compost fue de 39.56 %, si bien varios autores difieren en cuanto al valor mínimo, se considera que un valor mayor al 25% es lo adecuado para las enmiendas orgánicas tal cual se establece tanto la normativa chilena como la norma British Standard Institution, la que además señala que para compostajes que serán empleados como sustratos de cultivos, como lo es el caso del compost de la ESPOCH, este es un valor mínimo pero fiable para su uso. Por otra parte, Chávez (2015) menciona que en lo ideal para el fin que se requiere del compost lo ideal es que presente contenidos superiores a 40 % y ser mayormente resistente a la descomposición biológica.

La evaluación de los polifenoles es un parámetro que principalmente detecta cualquier fitotoxina que pudo haber liberado el material de compostaje, debido a que este puede afectar la germinación de la semilla y causar daños en la planta que la puede llevar a la muerte. La concentración de este parámetro fue de 0.214 ppm (mg/kg).

Finalmente, se evaluó el porcentaje del índice de germinación para el compost empleado en la investigación. Es importante mencionar que el índice de germinación mide el grado de toxicidad del material del compost. Por tanto, de acuerdo con el resultado obtenido de 94.789 % el compost no presenta fitotoxicidad y se trata de un compost muy maduro de acuerdo con su clasificación, siendo un compostaje de buenas características según los umbrales de tolerancia de la CCQC "California Compost Quality Council" por sus siglas en inglés, que establece que un valor de este indicador mayor al 90% se trata de un compost de mencionada categoría. Lo que va en contraste con la evaluación del parámetro de la conductividad eléctrica pues, si esta fuese mayor el índice de germinación se vería afectado directamente (Chávez, 2015).

### 3.3 Análisis de micro y macro nutrientes del Compost

Una característica importante por analizar dentro de los parámetros de calidad del compostaje es el contenido de macro y micronutrientes del compost, en base a esta información se determinará que cantidad de contenido es necesario aportar al suelo para cumplir con el objetivo de potenciar nutrimentalmente a este, para así mejorar de manera notable la productividad de los cultivos y cuidar la salud de los suelos.

**Tabla 4-3:** Análisis de macro nutrientes y aniones en el compost

Muestra	Macronutrientes				Aniones			
	C	N	K	P	Cl <sup>-</sup>	SO <sup>-</sup>	NO <sup>-</sup>	PO <sup>-</sup>
	%	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
<b>Comp_01</b>	21.26	2.25	12190.36	1598.50	4960	11600	11200	9025
<b>Comp_02</b>	21.18	2.03	12701.98	1655.00	5200	11650	11180	9005
<b>Comp_03</b>	21.11	2.18	12740.94	1687.50	4990	11620	11120	9045
<b>Total</b>	21.18	2.15	12544.42	1647.00	5050	11625	11166.66	9025

Realizado por: Guananga J., 2022

Comp= Muestra de compost, C= Carbono, N= Nitrógeno, K= Potasio, P= Fósforo, Cl=Cloruros, SO<sub>4</sub><sup>-</sup>= Sulfatos, NO<sub>4</sub><sup>-</sup>= Nitratos, PO<sub>4</sub><sup>-</sup>= Fosfatos.

Un compost alto en contenido de nutrientes como nitratos, fosfatos, sulfatos, calcio, entre otros, es un importante aporte para aumentar la fertilidad y beneficiar a la estructura del suelo. Por otra parte, contenidos altos de cloruros, de sodio y aluminio puede provocar alteraciones en las plantas, como por ejemplo limitación de crecimiento por desbalance osmótico, déficit de absorción de nutrientes y agua que significarían un rendimiento del cultivo inferior al que se esperaría (Florián, [sin fecha]).

El resultado en el compost es de 21.18 % para C, valor que se encuentra de acuerdo con lo requerido por Román (2013) que menciona que, un contenido de carbono en esta enmienda orgánica no puede ser menor al 20%, por lo tanto, es un contenido aceptable para dicho elemento orgánico. En cuanto al nitrógeno el valor que se obtuvo es de 2.15 %, dato que se encuentra ligeramente alto pues se establece que el rango óptimo para el elemento nitrógeno es de 0.3 % hasta 1.5 % (Román et al., 2013).

Este dato elevado se puede verificar fácilmente en la determinación de la relación C/N en la que se establece que una relación por debajo del 15C:1N se refiere a un compost con exceso del elemento

nitrógeno, lo cual es sugerente de que en el proceso de compostaje hubo eliminación de cantidades de amoníaco, siendo sujeto de eliminación de olores desagradables en la pila de compostaje. Por este motivo se establece que una relación idónea de carbono-nitrógeno es de 25:1 (Campitelli y Bachmeier, 2010). En el compost utilizado en esta investigación tiene una relación de 10:1.

Para el elemento potasio y fósforo los resultados del compost fueron de 12544.42 (mg/kg) y 1647 (mg/kg) respectivamente, dichos elementos se encuentran dentro de los rangos normales para compostaje. Para el elemento potasio (K) se establece que el rango que se requiere de este en el compost es de 3000 a 10000 mg/kg, mientras que para el fósforo (P) se menciona que su aceptabilidad va de 1000 hasta 10000 mg/kg, es por tal motivo que sus resultados se encuentran dentro de rangos óptimos para el aporte nutrimental que necesita el cultivo (Román et al., 2013).

En cuanto a los compuestos aniónicos son capaces de ligar y retener elementos o cationes debido a su afinidad electrónica, como por ejemplo con los metales, y esta propiedad hace que sean asimilables por la planta (Roca, [sin fecha]). Los elementos “coloides” de carga negativa se adhieren a espacios de carga positiva, y debido a esto los nutrientes son almacenados para que puedan ser adquiridos por las plantas. Mientras mayor sean los coloides buenos, mayor fertilidad del suelo. Los aniones mantienen el equilibrio entre nutrientes del suelo y de las plantas, cuando un nutriente es absorbido por la planta los coloides o aniones reponen de sus reservas este nutriente hacia la solución del suelo (Toledo, 2016)

Los resultados fueron de 11625 (mg/kg) para el anión  $\text{SO}_4^{2-}$  “sulfato”, 11166.66 (mg/kg) para el anión  $\text{NO}_3^-$  “nitrato”, y 9025 (mg/kg) para el anión  $\text{PO}_4^{3-}$  “fosfato”, tal como se menciona en (Florián, [sin fecha]) los valores altos en estos aniones mejora la fertilidad del suelo. Caso contrario sucede con el caso del anión  $\text{Cl}^-$  que su presencia en alta concentración en el suelo puede provocar limitación del crecimiento. El resultado obtenido del  $\text{Cl}^-$  es de 5050 mg/kg, valor que se encuentra por debajo de los valores normales con la cual este elemento se encuentra en la composición de fertilizantes o abonos según la norma ecuatoriana INEN 209:1998 que establece que forma parte de la composición de estos en un 2.5%, es decir 25000 ppm.

Es importante entender que el 1.8 % de todos los elementos nutrimentales esenciales de las plantas se encuentran adheridos a las plantas para comprender el papel que juegan los aniones en las enmiendas que son empleados en los suelos (Toledo, 2016).

### **3.4 Análisis físico químico y elemental del suelo antes de la siembra y después de la cosecha**

Las muestras de suelo analizadas en este apartado corresponden a tomas de antes de la siembra ( $S_1$ ) y después de la cosecha ( $S_2$ ), en las que se evaluaron y compararon para determinar si hay cambios significativos entre los tratamientos implicados, ya que se aplicó una sección de suelo sin enmienda y otra con enmienda (compost), y entre el suelo antes de la siembra y después de la cosecha de la planta con la que se trabajó, siendo la cebolla la especie vegetal en mención.

Los resultados obtenidos en el laboratorio se los tabularon para mejorar la comprensión y análisis de los datos, así como las comparativas entre los tratamientos tal cual se había mencionado antes.

**Tabla 5-3.** Evaluación de pH, salinidad, materia orgánica del suelo durante el cultivo de cebolla

Tratamiento	pH		C.E (dS/m)		M.O %	
	$S_1$	$S_2$	$S_1$	$S_2$	$S_1$	$S_2$
SN	7.47	7.09	0.17	0.19	3.88	5.55
SC	7.21	7.03	0.42	0.23	5.73	5.25
<i>F-ANOVA</i>						
Tratamiento	26.150***	3.390 NS	35.986***	11.588**	13.064**	1.210 NS
Muestreo	42.165***		6.185*		2.755 NS	

**Realizado por:** Guananga J., 2022

SN= Muestra de Suelo sin Ningún tratamiento, SC= Muestra de Suelo con Compost,  $S_1$ = Suelo antes de la siembra,  $S_2$ = Suelo después del cultivo, C.E= Conductividad Eléctrica, M.O= Materia orgánica.

\*\*\*, \*\*, \*= Significativo en  $P < 0.001$ , 0.01 y 0.05 respectivamente. NS= No significativo

### 3.4.1 pH

Los resultados obtenidos experimentalmente de las muestras de suelos antes de la siembra de la cebolla fueron de 7.47 para las parcelas sin tratamiento, mientras que fue de 7.21 para las parcelas con compost. Para el suelo después de la cosecha de cebolla, los datos fueron de 7.09 para las muestras de las parcelas sin tratamiento y 7.03 para las parcelas con compost. Estos resultados fueron contrastados con los valores de referencia de las diferentes normativas para establecer si se encuentran dentro de los parámetros óptimos para el suelo agrícola.

Según el acuerdo ministerial ecuatoriano 97-A, el valor de referencia para el pH en las muestras de suelo agrícola es de 5-8, mientras que para (Garrido, 1993) el intervalo óptimo para este parámetro es de 6.5 a 7.5. En la normativa estadounidense EPA, se establece que el pH adecuado para el suelo va de 5.5 a 8. En cualquier caso, se evidencia que los datos obtenidos de las muestras de suelo evaluadas en este estudio se encuentran dentro de los parámetros apropiados según las distintas normativas.

El valor de pH entre los tratamientos SN (suelo sin tratamiento) y SC (suelo con compost) antes de la siembra ( $S_1$ ), presenta altas diferencias significativas con un valor  $P < 0.001$ , lo que supone que sus valores son estadísticamente diferentes. Para los datos de pH después de la cosecha del cultivo de cebolla ( $S_2$ ), las muestras de suelo sin tratamiento (SN) y las muestras con la enmienda orgánica compost (SC), con un valor  $P < 0.05$ , no presentan diferencia significativa entre sus valores, por lo que se puede decir que estadísticamente hablando sus medias son similares. Finalmente, se evidenciaron diferencias altamente significativas con un valor  $P < 0.001$  entre los datos de pH del suelo antes de la siembra de la cebolla ( $S_1$ ) y después de la cosecha de este vegetal ( $S_2$ ) lo que se traduce en que hubo un cambio evidente entre los valores de pH entre una etapa y otra del cultivo.

Las plantas se desarrollarán de mejor manera a valores de pH neutro, debido a que los nutrientes estarán más disponibles a esta condición, en caso de un suelo ácido en el complejo abundarían hidrogeniones y el ion aluminio provocaría que elementos necesarios para el desarrollo como el Na, Mg, o K, formen parte fácilmente de la fracción soluble y sean eliminados por el agua propia de la actividad agrícola. Por el contrario, si el suelo es de carácter básico este se encontraría saturado de elementos como el calcio (Ca) impidiendo la absorción de otros como el hierro (Fe), elemento necesario para el desarrollo del cultivo (Garrido, 1993).

Autores como Vázquez et al. (2020), señalan que la aplicación de enmiendas orgánicas como el compost en el contenido edáfico, modifican ciertas características importantes para el cuidado de la salud y fertilidad de este. El caso particular del pH y su relación con la materia orgánica es un tema muy importante pues se ha determinado que cuando el valor de este parámetro de acidez se encuentra en un valor diferente al de la neutralidad, la M.O tiende a regularlo a manera de un efecto tampón (Vázquez et al. 2020).

### **3.4.2 Conductividad eléctrica**

Este parámetro fue evaluado en el laboratorio obteniendo los resultados de 0.17 (dS/m) y 0.42 (dS/m) para las muestras de suelo sin enmienda (SN) y suelo con compost (SC) respectivamente, ambos pertenecientes a la etapa del cultivo de antes de la siembra de la cebolla, mientras que, para la etapa de cultivo de después de la cosecha, los resultados fueron de 0.19 (dS/m) y 0.23 (dS/m), para suelo SN y para SC respectivamente.

Estadísticamente los resultados entre tratamientos para las muestras  $S_1$  presentan una diferencia altamente significativa, es decir que con un nivel de confianza de 0.001 sus medias son distintas y por

tanto sus valores difieren, siendo la muestra de suelo con compost la que mayor valor presentó entre ambos tratamientos y etapas del cultivo. Para las muestras  $S_2$  de igual manera presenta diferencia significativa entre los tratamientos con compost y tratamientos sin enmienda con un valor de 0.01 de significancia. En este caso el valor de la conductividad llega a regularse en cierto modo al paso del tiempo, por lo que se evidencia una baja diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) entre datos antes de la siembra y después de la cosecha.

Se evidenció un aumento en el valor de la conductividad eléctrica con la aplicación de la enmienda Orgánica en el suelo. Posiblemente se deba a la cantidad de aniones y cationes que aporta el material orgánico al cultivo por lo cual se ve reflejado en un primer indicio, pues tanto para el suelo antes de la siembra ( $S_1$ ), como para el suelo después de la cosecha ( $S_2$ ) el aumento entre tratamientos es notorio, sin embargo, este aumento rico en nutrientes aporta a la fertilidad del suelo (Florián, [sin fecha]).

Los valores de conductividad eléctrica del presente trabajo tabulados en la Tabla 4-3 se encuentran dentro de los rangos establecidos por las diferentes normas. La normativa ecuatoriana en el acuerdo ministerial 97-A establece que el valor máximo para este parámetro en suelo de uso agrícola comercial es de 4000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , lo que a su conversión en las unidades en las que se trabajó sería 4  $\text{dS}/\text{m}$  (Ministerio del Ambiente, 2015). Para la cámara de Industrias y Producción del Ecuador, el valor establecido es de máximo 2  $\text{dS}/\text{m}$  (CIP, [sin fecha]), mientras que a nivel internacional en la Soil Survey manual de los Estados Unidos de América establece que el rango normal es de 2 a 4  $\text{dS}/\text{m}$  (Soil, 2014).

### **3.4.3 Materia orgánica**

El valor del parámetro de la materia orgánica aumentó cuando se aplicó el compost al suelo antes del de la siembra, dando como resultado un porcentaje mayor al del suelo sin tratamiento. Según menciona (Idrovo et al., 2019), la adición de la enmienda trae consigo un aumento en el valor de la materia orgánica y del carbono orgánico total, tal cual se evidenció en un estudio de cultivo de lechugas y usando como enmienda orgánica compost a base de champiñones gastados.

Los resultados obtenidos en el suelo antes de la siembra ( $S_1$ ) para el parámetro de materia orgánica fueron 3.88 y 5.73 para suelo sin enmienda (SN) y suelo con compost (SC) respectivamente. Con un valor de  $P < 0.01$  estos resultados presentan una moderada diferencia significativa entre tratamientos. Para los tratamientos de las muestras después de la cosecha de la planta ( $S_2$ ) se evidencia que no existe diferencia significativa, presentando medias similares.



La materia orgánica posee una elevada capacidad de intercambio catiónico, característica que le ayuda en la adhesión de metales y contaminantes. Una cantidad óptima de M.O evita la erosión de los suelos y mejora el drenaje del suelo (Garrido, 1993), también permite absorber agua y nutrientes y estabilizar los metales creando complejos organometálicos, Si bien los valores referenciales para este parámetro es de 1.5 – 2.5, la Cámara de Industrias y Producción (CIP) prefiere no referirlos, debido a que un contenido mayor como se ha mencionado favorece a las propiedades beneficiosas para el suelo y la productividad del cultivo, pero se debe tener en cuenta que sobrepasar o exigir de más al suelo con gran cantidad de materia orgánica puede tener sus consecuencias, como el desbalance de nutrientes en el suelo.

**Tabla 6-3:** Evolución de macro y micronutrientes del suelo durante el cultivo de cebolla

Tratamiento	C (%)		N (%)		K (mg/kg)		P (mg/kg)	
	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>
SN	3.75	4.42	0.68	0.72	2448.02	3233.11	1019.61	994.35
SC	5.75	1.66	0.69	1.26	3013.20	2806.72	1031.66	1062.06
<i>F-ANOVA</i>								
Tratamiento	23.738***	135.705***	0.494	13.664**	799.093***	81.232***	0.459 NS	55.841***
Muestreo	13.077***		9.916**	NS	10.473**		0.040 NS	

Realizado por: Guananga J., 2022

SN= Muestra de Suelo sin Ningún tratamiento, SC= Muestra de Suelo con Compost, S<sub>1</sub>= Suelo antes de la siembra, S<sub>2</sub>= Suelo después del cultivo, C= Carbono, N= Nitrógeno, K= Potasio, P= Fósforo .

\*\*\*, \*\*, \*= Significativo en P< 0.001, 0.01 y 0.05 respectivamente. NS= No significativo

En términos generales los resultados del suelo después de la siembra de la cebolla presentaron un aumento en cuanto a valores de nutrientes en comparación al suelo antes de la siembra de la materia vegetal, esto puede deberse al uso de la enmienda orgánica compost en los suelos para enriquecer de nutrientes necesarios para un mejor desempeño del cultivo, así como un favorecimiento al cuidado del suelo.

### 3.4.4 Carbono y Nitrógeno

Los resultados de los datos de carbono tanto de las muestras S<sub>1</sub>(suelo antes de la siembra) como las S<sub>2</sub> (suelo después de la cosecha) presentaron una alta diferencia significativa entre sí y entre cada tratamiento, con un valor P<0.001, siendo indicador de que los resultados para este indicador variaron considerablemente. El resultado para el contenido de carbono en el suelo sin tratamiento de las muestras S<sub>1</sub> fue de 3.75 %, mientras que en el suelo con la enmienda (compost) el valor fue de 5.75 %. En las

muestras de suelo luego de la cosecha de la materia vegetal ( $S_2$ ) los resultados obtenidos fueron 4.42 % y 1.66 % para el suelo sin tratamiento y el suelo con compost respectivamente.

El contenido de carbono en el suelo con compost en las muestras tomadas antes de la siembra de la materia vegetal denota un valor mayor al del suelo sin tratamiento, probablemente por el aumento de los nutrientes aportados por la enmienda orgánica tal cuál menciona Idrovo (2019) en su investigación en la que existen reportes del aumento de carbono en el suelo tras aplicar la enmienda orgánica.

El contenido de nitrógeno en los datos del suelo antes de la siembra no presentan diferencia significativa entre el suelo sin tratamiento (SN) y el suelo con compost (SC), siendo los resultados de 0.68 % y 0.69 % respectivamente. En cuanto a los datos para las muestras de suelo después del cultivo sí presentan diferencia significativa con un valor  $P < 0.01$ , siendo el valor de 0.72 % para el suelo sin tratamiento y de 1.26 % para el suelo con enmienda orgánica (compost).

Para Toledo (2016), el 95 % del N en el suelo se encuentra en la materia orgánica siendo de a poco liberado al medio a medida que los microorganismos metabolizan los nutrientes. De hecho, se afirma que hasta el 5 % de la materia orgánica es nitrógeno. El aporte de los nutrientes se va a realizar en función del contenido de nitrógeno, por lo tanto, se debe determinar la cantidad necesaria de una enmienda de acuerdo con este parámetro químico evaluado del suelo (% M.O), así como su densidad, considerar la cantidad de terreno a cubrir y los requerimientos establecidos del elemento para cada planta brindada en bibliografía (Toledo, 2016).

Los valores sin diferencia significativa de las muestras  $S_1$  para el nitrógeno probablemente se deban a que el aporte de nitrógeno no es de mayor consideración en las parcelas de suelo con la enmienda orgánica, ya que en el análisis químico del compost empleado se evidencia que solamente contiene un 2% de su composición, ya que el suelo no necesitaba mayor requerimiento de este metal.

El indicador C/N es un parámetro brinda información de la cantidad de carbono aportado por el sustrato y su relación con el contenido de nitrógeno presente, con el fin de evaluar la estabilidad de las formas nitrogenadas del suelo del cultivo, considerando que un suelo rico en nitrógeno beneficiará la actividad bacteriana (Andreu et al., 2003).

Los datos que se obtuvieron para la relación en los suelos antes de la siembra ( $S_1$ ) es de 5.5:1 para el suelo sin tratamiento (SN), mientras que para el suelo con compost (SC) es de 8.3:1. El resultado de la relación C/N para los datos del suelo después del cultivo ( $S_2$ ) es de 6.1:1 y de 1.3:1 para las parcelas de SN (suelo sin tratamiento) y SC (suelo con compost) respectivamente. El valor referencial para esta relación es de 8.5:1 hasta 11.5:1 para suelos (Mula, 2012), los resultados obtenidos se encuentran por

debajo de lo ideal para el parámetro, lo cual supone que existe una menor cantidad de carbono de lo ideal en los cultivos, lo cual favorecería a la fijación del nitrógeno en el suelo, así como su mineralización (Andreu et al. 2003) y se requerirá un aumento en el contenido de carbono que regule el equilibrio del suelo agrícola del estudio.

### **3.4.5 Potasio y fósforo**

El contenido de potasio con un valor  $P < 0.001$  presenta altas diferencias significativas entre los resultados del suelo antes de la siembra de la cebolla para los tratamientos SN y SC obteniendo los valores de 2448.02 mg/kg y 3013.20 mg/kg respectivamente. Los valores para ambos casos se encuentran dentro de rangos de referencia citados por Ferrando (2013) para el elemento potasio (K), quien menciona que se puede encontrar hasta en una concentración de 8000 mg/kg.

Los datos de las muestras del suelo después del cultivo de la materia vegetal presentó altas diferencias significativas entre los suelos sin tratamientos SC y suelo con compost SC, con un nivel de significancia menor a 0.001. Los resultados obtenidos para este elemento fueron 3233.11 mg/kg para SN y de 2806.72 mg/kg para SC resultado mayor para suelo sin tratamiento. Los dos resultados se encuentran dentro de los rangos normales establecidos por Ferrando (2013) para el elemento potasio(K).

En ciertos estudios se menciona que el contenido de potasio (K) debe estar entre los rangos de 150 a 300 ppm, sin embargo, es normal que el contenido para este elemento se encuentre incluso hasta 10 veces esta concentración en suelos dedicados continuamente a la explotación agrícola, pero se debe controlar para evitar la formación de complejos insolubles que imposibilitarían la absorción adecuada de nutrientes a la planta (Mula, 2012).

Los resultados de fósforo (P) en las muestras de suelo SN (suelo sin tratamiento) y SC (suelo con compost) fueron de 1019.61 mg/kg y 1031.66 mg/kg respectivamente para el suelo antes de la siembra, dichos valores no presentan diferencia significativa, por lo que se puede decir que son estadísticamente de medias similares. En contraparte, los resultados de las muestras de suelo después de la cosecha de la materia vegetal (cebolla) sí presentaron altas diferencias significativas, pese a que sus datos son muy cercanos, y se encuentran ligeramente elevados en comparación con los valores de referencia citados en bibliografía, siendo 1062.06 mg/kg para suelo con compost y 994.35 mg/kg para suelo sin tratamiento, este último es el único valor que se encontró en el límite superior los rangos adecuados, los cuales se establecen entre 100 hasta 1000 mg/kg de fósforo (P) (Ferrando, 2013).

Los datos de fósforo no sufrieron un cambio considerable entre las etapas del cultivo por lo cual se considera que los resultados fueron de diferencia no significativa estadísticamente hablando, por lo que sus medias entre etapas se consideran similares. Esto puede deberse a que el aporte que se brinda con la enmienda compost no es mayor en comparación a los otros nutrientes de esta, tal cual se muestra en la tabla 4-3.

El análisis proporcionado en este estudio particularmente para estos parámetros (N,K,P) se los compara con la investigación realizada por Idrovo et al., (2019) el cual menciona que el agregar la enmienda orgánica compost se ha evidenciado en distintos estudios que el aumento de estos tres elementos es evidente, sin embargo, con el paso del experimentos dichos macronutrientes disminuyeron, lo cual puede deberse a que las plantas adoptan estos nutrientes o en otro caso puede referirse a la lixiviación de estos elementos del suelo (Idrovo et al., 2019)

### 3.4.6 Metales pesados en suelo

Los metales pesados en el suelo fueron determinados por el método de espectrofotometría de absorción atómica, y los resultados fueron tabulados con lo cual se establecieron las comparativas con las normativas nacionales e internacionales para dichos elementos.

**Tabla 7-3:** Evaluación de los metales Cd y Hg en el suelo durante el cultivo

Tratamiento	Cd (mg/kg)		Hg (mg/kg)	
	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>
SN	0.11	0.16	0.05	0.04
SC	0.15	0.09	0.05	0.05
<b>F-ANOVA</b>				
Tratamiento	154.218***	28.572***	0.505 NS	349.308 NS
Muestreo	0.087 NS		3.788 NS	

Realizado por: Guananga J., 2022

SN= Muestra de Suelo sin Ningún tratamiento, SC= Muestra de Suelo con Compost, S<sub>1</sub>= Suelo antes de la siembra, S<sub>2</sub>= Suelo después del cultivo, Hg= Mercurio, Cd= Cadmio.

\*\*\*, \*\*, \*= Significativo en P< 0.001, 0.01 y 0.05 respectivamente. NS= No significativo

Los resultados para el metal pesado cadmio (Cd) en el suelo antes de la siembra del material vegetal (S<sub>1</sub>) presenta una alta diferencia significativa entre los tratamientos SC (suelo con compost) y SN (suelo sin ningún tratamiento) con un valor P< 0.001, siendo así de medias estadísticamente diferentes. Los

resultados obtenidos fueron 0.11 mg/kg para SN y 0.15 mg/kg para SC. De igual manera, los resultados para el suelo después de la cosecha de la materia vegetal ( $S_2$ ) presentaron nivel alto de diferencia significativa con un valor  $P < 0.001$ , estableciendo de igual forma medias diferentes. Pese a estos análisis, no se presentaron diferencia significativa entre una etapa y otra del cultivo es decir antes de la siembra y después de la cosecha.

Los resultados fueron comparados con la norma ecuatoriana INEN-CODEX 193 la cual establece que para el metal pesado cadmio el rango permitido en suelos no debe sobrepasar los 0.5 mg/kg, siendo evidente que se obtuvo resultados que están de acuerdo con la normativa nacional. Similar a esto, se empleó la normativa internacional para ser evaluada.

El aumento del valor obtenido para el cadmio en el suelo sin tratamiento entre el suelo antes de la siembra y después del cultivo, quizá se deba al empleo del fertilizante empleado para enriquecimiento del suelo, esto debido a que según Rueda et al., (2011), los fertilizantes fosfatados y nitrogenados aportan cantidades de metales pesados a los suelos agrícolas, siendo los valores para cadmio de 0.1-170 mg/kg en fertilizantes fosfatados y en nitrogenados de entre 0.05-8.5 mg/kg de este elemento.

En cuanto a los valores obtenidos para el metal mercurio (Hg), este elemento no presentó diferencia significativa en ningún tratamiento aplicado en el estudio ni tampoco entre las etapas de cultivo, con un valor  $P$  mayor que 0.05 se puede afirmar que las medias para los resultados entre los datos de las muestras de suelo SC y SN de antes de la siembra y después de la cosecha no presentan diferencia significativa y por tanto se las considera similares.

Los resultados obtenidos en las muestras de suelo antes de la siembra de la cebolla fueron 0.05 mg/kg para suelo sin tratamiento y 0.05 mg/kg para suelo con compost, mientras que para las muestras de suelo después de la cosecha de la cebolla fueron 0.04 mg/kg y 0.05 mg/kg para suelo sin tratamiento y suelo con compost respectivamente. Por tanto, el nivel de mercurio no se modificó durante el cultivo de la materia vegetal, y al comparar con la normativa nacional INEN-CODEX 193 se puede establecer que está dentro del parámetro aceptado para concentración del metal en el suelo, siendo hasta 0.1 mg/kg de mercurio lo permitido.

### **3.5 Análisis de la biomasa vegetal (Cebolla)**

Se establecieron varios parámetros a evaluar en la materia vegetal cultivada, los cuales fueron indicadores de calidad del producto, así como del actuar de la enmienda empleada en los suelos del

estudio y su aporte a la planta. Se establecieron análisis de control de calidad, análisis elementales de los metales y los factores de bioacumulación y traslocación.

### 3.5.1 Parámetros comerciales y de calidad de la cebolla

Se evaluaron ciertos aspectos principales para determinar la calidad comercial del cultivo de cebolla y compararlos entre los tratamientos aplicados en el estudio, los resultados fueron tabulados a continuación para una mejor comprensión de estos.

**Tabla 8-3:** Parámetros generales para evaluar la calidad del cultivo de cebolla entre tratamientos

Materia vegetal	P.B.A kg	D.C cm	L.C	Pf.T	Pf.R g	Pf.H
SN	1.55	1.61	72.61	56.46	6.15	30.79
SC	2.00	1.88	72.29	63.29	10.35	46.31
F-ANOVA	17.832***	4.049 NS	0.010 NS	0,916 NS	9.160*	0.3233 NS

Realizado por: Guananga J., 2022

SN= Muestra de Suelo sin Ningún tratamiento, SC= Muestras de suelo con compost, P.B.A= Peso de la biomasa aérea, D.C= Diámetro de la cebolla, L.C= Longitud de la Cebolla, Pf.T= Peso en fresco del tallo, Pf.R= Peso en fresco de la raíz, Pf.H= Peso en fresco de las hojas

\*\*\*, \*= Significativo en P< 0.001, y 0.05 respectivamente. NS= No significativo

Los resultados obtenidos fueron muy favorables para las muestras de cebolla cultivadas en el suelo con la enmienda orgánica compost, pues en términos generales, se puede evidenciar un mayor valor en los parámetros evaluados sobre la masa vegetal analizada.

En el análisis estadístico de estos parámetros tanto el diámetro de la cebolla (D.C) como la longitud de la cebolla (L.C) , el peso en fresco del tallo (Pf.T) y el peso en fresco de las hojas (Pf.H) no presentan una diferencia significativa entre los tratamientos en los que fueron cultivados siendo suelo sin tratamiento (SN) y suelo con compost (SC), por lo que se puede decir que con un nivel de significancia mayor a 0.05 que sus medias son estadísticamente similares. Sin embargo, el único parámetro de los antes mencionados en los que la materia vegetal del cultivo de suelo sin tratamiento fue superior, aunque en milésimas, fue la longitud de la cebolla. En los demás parámetros quién predominó fue la enmienda compost.

Lo resultados obtenidos de diámetro de cebolla fueron de 1.61 cm y 1.88 cm para la cebolla cultivada en el suelo sin ninguna enmienda, y para la cebolla evaluada del suelo con compost respectivamente, de igual manera, para la longitud de estas se obtuvo el valor de 72.61 cm y 72.29 cm para mencionadas muestras de suelo evaluadas. Es importante mencionar que se tomó una muestra patrón de cebolla de cada tratamiento, en la cual fueron evaluados dichos parámetros con ayuda de elementos de medida en

centímetros, siendo en este caso la utilización del pie de rey para medir el diámetro y una cinta métrica para medir la longitud.

Según la NTC 1222 (1979), la especie con la que se trabajó (*A.fistulosum*) presentó una clasificación de “Extra” según su tamaño evaluado al tener una longitud mayor a los 25 cm y un diámetro alrededor de los 2 cm. Además, en la misma técnica menciona algunas condiciones generales de calidad que se requieren cumplir para el consumo seguro de las personas, en las que básicamente se basan en la fijación de tolerancias establecidas por el tamaño y defectos de las condiciones como hojas amarillentas o secas y tallos roto o magullados, parámetros que fueron cuidadosamente revisados en el presente estudio sobre la materia vegetal cultivada y llevada al laboratorio.

El parámetro de peso de la biomasa aérea fue evaluado en el sitio del cultivo, siendo una medida general de toda la masa cultivada por cada caballón y cuyo peso determina la cantidad total del cultivo para dicho tratamiento. Los resultados obtenidos fueron 1.55 kg para las cebollas cultivadas en el suelo sin tratamiento, y 2.00 kg para las cebollas cultivadas en suelo con compost, siendo un resultado de alta diferencia significativa, es decir con un valor  $P < 0.001$  sus medias son diferentes. El resultado de mayor valor fue para el compost, probablemente a la mayor disponibilidad de nutrientes para la planta facilitados por la enmienda aplicada a estos suelos.

Los resultados por separado de los órganos que conforman la estructura física de la cebolla fueron mayores para el compost, estos análisis se realizaron en el laboratorio, luego de un cuidadoso lavado, se dividió en sus órganos y se los trató por separado, eliminando el exceso de tierra y retirando impurezas con agua destilada.

El valor del resultado para el tallo en fresco fue de 54.46 gramos y 63.29 gramos para los tallos de las cebollas cultivadas en suelo sin ningún tratamiento (SN) y suelo con compost (SC) respectivamente. De la misma manera los resultados de la evaluación del peso en fresco de las hojas fueron de 30.79 gramos para la materia vegetal cultivada en suelo sin tratamiento y 46.31 gramos para las plantas cosechadas del suelo con la enmienda orgánica compost. Finalmente, la evaluación del peso en fresco de la raíz presenta un valor  $P < 0.05$ , es decir que presenta una baja diferencia significativa entre los tratamientos utilizados, los resultados hallados fueron de 6.15 gramos para peso de la raíz de la cebolla cultivada en suelo sin tratamiento, y 10.35 gramos para el peso en fresco de la raíz de la cebolla cultivada en suelo con compost.

Los datos en líneas generales son “mejores” cuando se cultivaron en suelos enriquecidos con el tratamiento orgánico compost. Varios estudios determinan y reportan este hecho, el cual es evidencia de que favorece a las características de un cultivo mejorado. Esta característica se debe al mejor

aprovechamiento por parte de las plantas a los nutrientes de los suelos, ya que el compost favorece y mejora las características físicas, químicas y biológicas, aporta contenido de nutrientes necesarios para el desarrollo de la planta y brinda una mejor característica al suelo que es aprovechado por las raíces para su anclaje, parámetro que fue evaluado por (Orrala, 2021), en su estudio denominado “Calidad de abonos orgánicos (compost) a partir de estiércol porcino y su efecto en el desarrollo radicular en el maíz emblema (*Zea mays*) en Santa Elena”

### 3.5.2 Factores de bioacumulación de metales pesados

Se evaluaron los parámetros de bioconcentración de metales pesados y los factores de traslocación de los metales pesados para la planta usada en el estudio (*A.fistulosum*) con el fin de caracterizar el actuar de esta frente a los metales pesados cadmio (Cd) y mercurio (Hg).

El factor de traslocación fue evaluado en dos partes, ya que este se determina entre la concentración del metal en la raíz en contraste con la concentración en el órgano comestible, por lo cual, en la cebolla al tener dos órganos comestibles, el tallo y las hojas, estos fueron evaluados por separado y tabulados en diferentes factores de traslocación para cada uno.

**Tabla 9-3:** Cálculo de los factores BCF y TF de la cebolla (*A.fistulosum*) para Cd y Hg

Materia Vegetal	Cadmio			Mercurio		
	BCF	TF tallo	TF hoja	BCF	TF tallo	TF hoja
SN	0.519	0.858	0.290	1.371	0.251	0.343
SC	3.013	0.678	1.013	0.591	1.744	1.668
F-ANOVA	141,859***	49,514***	999,466***	148,105***	266,909***	196,663***

Realizado por: Guananga J., 2022

SN= Muestra de Suelo sin Ningún tratamiento, SC= Muestras de suelo con compost, BCF= Factor de bioconcentración, TF= Factor de traslocación

\*\*\*= Significativo en  $P < 0.001$

Con el factor de bioconcentración BCF se evalúa la capacidad de la cebolla para acumular en su órgano radicular concentraciones de metal, su relación se la determina con la concentración del mismo metal a evaluarse en el suelo. Cuando el valor de esta relación es  $> 1$  se considera que la cebolla es hiperacumuladora, en contra parte, si el valor es  $< 1$  se refiere a que esta planta es excluyente. Por otra parte, el factor de traslocación (TF) evalúa la capacidad de absorción de la cebolla en sus órganos comestibles en relación con la concentración de su raíz. El resultado  $TF < 1$  se refiere a un transporte del metal poco eficaz, mientras que un valor por encima de la unidad se refiere al eficiente transporte del metal desde la raíz hasta el tallo u hojas (Castro et al., 2018).



### 3.5.2.1 *Factor de bioconcentración*

Los resultados del índice BCF para el metal cadmio en las cebollas (Cd) fueron 0.519 y 3.013 para suelo sin tratamiento (SN) como para suelo con compost (SC) respectivamente. Para el metal pesado mercurio fueron 1.371 para las cebollas del suelo sin tratamiento y 0.591 para el suelo con enmienda orgánica compost. Ambos resultados de los metales para el parámetro de la bioconcentración muestran altas diferencias significativas entre tratamientos aplicados en el suelo, con un valor  $P < 0.001$ . Las cebollas cultivadas en el suelo con compost son hiperacumuladoras de Cd mientras que las cebollas del suelo sin tratamiento son excluyentes de este metal. En contraparte, para el metal Hg las cebollas cultivadas en suelo sin tratamiento son las hiperacumuladoras de mercurio, mientras que son excluyentes las cebollas cultivadas en suelo con compost para dicho metal.

Los resultados demuestran que la cebolla cultivada en suelo con enriquecimiento del compost puede actuar como planta fitoestabilizadora en suelos agrícolas contaminados con el metal cadmio, en el que otras especies vegetales acumulan este contaminante en sus órganos comestibles suponiendo un riesgo para los consumidores. Por otra parte, la cebolla cultivada en suelo sin ningún tratamiento presentó resultados de planta hipercumuladora del metal mercurio debido a la capacidad de su raíz en retener dicho metal, probablemente debido al contacto directo que esta tiene con el mercurio disponible en el suelo (Durango et al., 2016).

### 3.5.2.2 *Factor de traslocación*

Los datos del factor de traslocación (TF) se los evaluó en dos partes, debido a que la cebolla consta de dos partes comestibles. Los resultados para la relación de traslocación en el tallo y en la hoja para el metal Cd presentan altas diferencias significativas con un valor  $P < 0.001$ , para el tallo de las cebollas cultivadas en ambos tratamientos (SC y SN) así como las hojas cultivadas en el suelo sin tratamientos presentan valores de TF por debajo de la unidad, por lo que se puede considerar que su transporte del metal cadmio desde la raíz hasta el tallo y hojas respectivamente, es ineficaz. En cuanto a las hojas de las cebollas cultivadas en suelo con compost presentaron un  $TF = 1.01$  siendo un valor neutro entre la determinación de si es capaz la planta de movilizar o no el metal Cd.

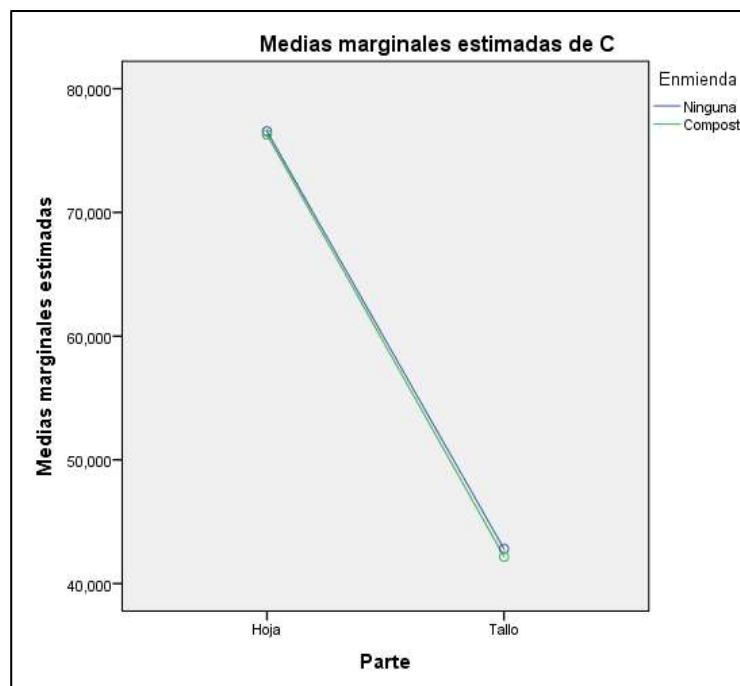
Para el mercurio (Hg) los datos de TF en las hojas y los tallos de las cebollas cultivadas en suelo con compost y suelo sin tratamiento presentaron un valor  $P < 0.001$ , es decir tienen altas diferencias significativas entre sí. Los resultados que demostraron alta capacidad de transporte del metal desde la

raíz hasta el órgano comestible, fueron los tallos y hojas de las cebollas cultivadas en suelo con compost, teniendo valores de TF superiores a la unidad, mientras que los tallos y hojas de las cebollas cultivadas en suelos sin tratamiento denotaron una ineficaz capacidad de transporte de metales hacia los órganos consumibles. Con esto se puede decir que las cebollas cultivadas en suelo enriquecido con compost tiene un gran potencial fitoextractor del metal mercurio (Hg) presente en el suelo (Durango et al., 2016).

### 3.5.3 Metales y macronutrientes en la biomasa vegetal (cebolla)

Se efectuó un análisis estadístico cruzado entre los resultados de las concentraciones en la materia vegetal (cebolla), tanto de los metales pesados (cadmio y mercurio) en contraste con los tratamientos en los que fueron cultivados las cebollas (suelo sin tratamiento y suelo con compost), así como de los macronutrientes (sodio, fósforo, potasio, nitrógeno y carbono) de igual manera en las muestras de los órganos vegetales de la cebolla frente a los tratamientos de suelos en los que fueron cultivados, siendo sin tratamiento (SN) y suelo con enmienda orgánica compost (SC). Estos resultados fueron aplicados en el software IBM SPSS statistics en el cual se reflejó el análisis de las medias de dichos valores obtenidos experimentalmente, obteniendo finalmente gráficas de comparación para una mejor interpretación de los resultados.

#### 3.5.3.1 Carbono



**Gráfico 1-3:** Medias marginales estimadas de Carbono

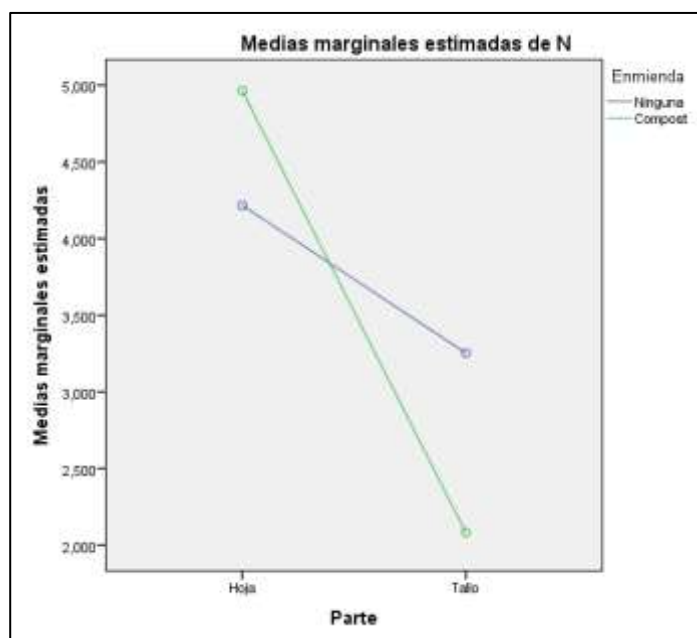
Realizado por: Guananga J., 2022

Los resultados de las concentraciones de carbono analizadas en el software SPSS evidencia que las medias de las concentraciones de carbono para las hojas y para el tallo son estadísticamente similares tanto en las cebollas cultivadas en suelos sin ningún tratamiento como en las que fueron cultivadas en suelo con la enmienda orgánica compost, para este macronutriente, por lo que en el gráfico 1-3 se observa una línea de tendencia pareja como resultado del análisis.

Los porcentajes obtenidos para este apartado fueron de 76.55 % y 76.29 % en hojas de las cebollas cultivadas en suelo sin tratamiento y suelo con compost respectivamente, mientras que para los porcentajes hallados en tallos de cebollas cultivadas suelos con compost los resultados de carbono fueron de 42.18 % y en suelos sin ningún tratamiento fue de 42.80 % . Estos resultados demuestran que no hay diferencias significativas entre los tratamientos aplicados en el estudio para el contenido del carbono.

El valor alrededor del cual varios estudios basan sus correlaciones de porcentaje de carbono es del 50% , con la consideración de que es un porcentaje que puede variar entre distintas especies de plantas y vegetales (Aldave y Aponte, 2019). Este valor permite afirmar que el contenido de carbono en la materia vegetal del estudio está acorde con la bibliografía.

### 3.5.3.2 Nitrógeno



**Gráfico 2-3:** Medias marginales estimadas del nitrógeno

Realizado por: Guananga J., 2022

Los resultados analizados para el macronutriente nitrógeno en el software estadístico SPSS statics demuestran que el porcentaje del elemento es mayor en las hojas de las cebollas cultivadas en suelo con compost que en el mismo órgano de las cebollas cultivadas en suelo sin tratamiento, sin embargo esta tendencia cambia en el tallo de las cebollas, siendo el de mayor porcentaje el presente en las cebollas de suelos sin ningún tratamiento el que predomina por encima del contenido de nitrógeno en tallo de las cebollas cultivadas en suelo con compost.

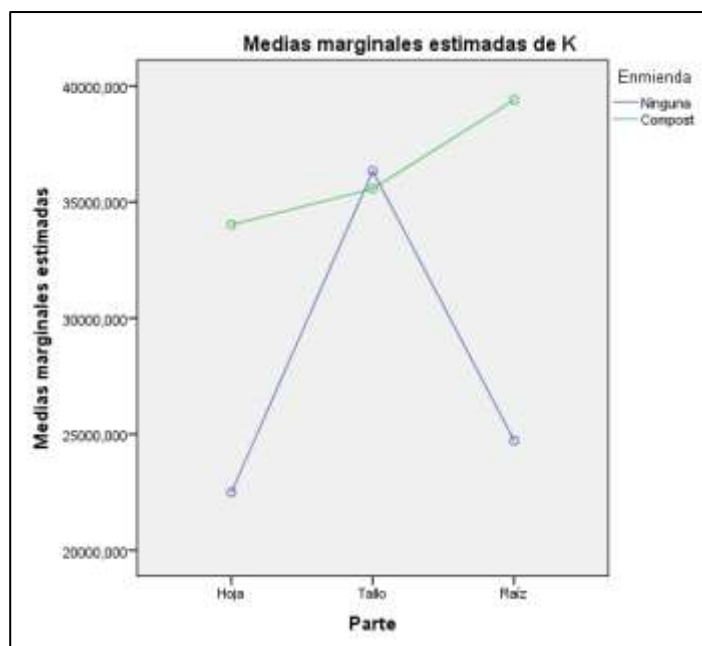
Es importante tener en cuenta que el nitrógeno es uno de los componentes de la clorofila y aminoácidos dentro de la planta, por tanto, participa en las reacciones vitales para la materia vegetal en cuanto a la metabolización de su propio alimento (Toledo, 2016).

Los valores porcentuales para mencionados resultados fueron de 4.22 % y 4.96 % de nitrógeno en hojas de cebollas cultivadas en suelo sin tratamiento y en suelo con compost respectivamente, teniendo una diferencia de menos de 1% en su comparativa, resultados similares a los obtenidos por Castillo (2016) quien encontró una diferencia no significativa entre los porcentajes de N en las hojas de la cebolla. Por otra parte, en los porcentajes del tallo de las cebollas cultivadas en suelos sin tratamiento reflejaron un 3.25 %, dato que fue menor en las cebollas cultivadas en suelos con compost con un valor de 2.73 %.

Esto puede deberse probablemente a los contenidos de nitrógeno en suelo después del cultivo analizados en el estudio, pues demuestran que el contenido en suelos con compost son mayores a los de suelo sin tratamiento, estos último al parecer aprovecharon de mejor manera la disponibilidad del elemento, quizá por un pH del suelo más cercano a la neutralidad lo que favorece a los procesos de mineralización del nitrógeno de la materia orgánica para ser aprovechado (Ramírez, 1997).

### 3.5.3.3 *Potasio*

Los resultados obtenidos en el análisis de la concentración de potasio muestran una tendencia particular en la que se evidencia niveles más bajos de concentración del elemento en las hojas y raíz de la cebolla cultivada en suelo sin ningún tratamiento (SN) en comparación a sus similares cultivadas en suelos con compost (SC), sin embargo, en el indicador del tallo tanto para cebolla de suelo SN y SC demuestran un valor muy cercano entre sí y de alta concentración siendo un despunte en la concentración del potasio para el cultivo sin tratamiento.



**Gráfico 3-3: Medias marginales estimadas de potasio**

**Realizado por:** Guananga J., 2022

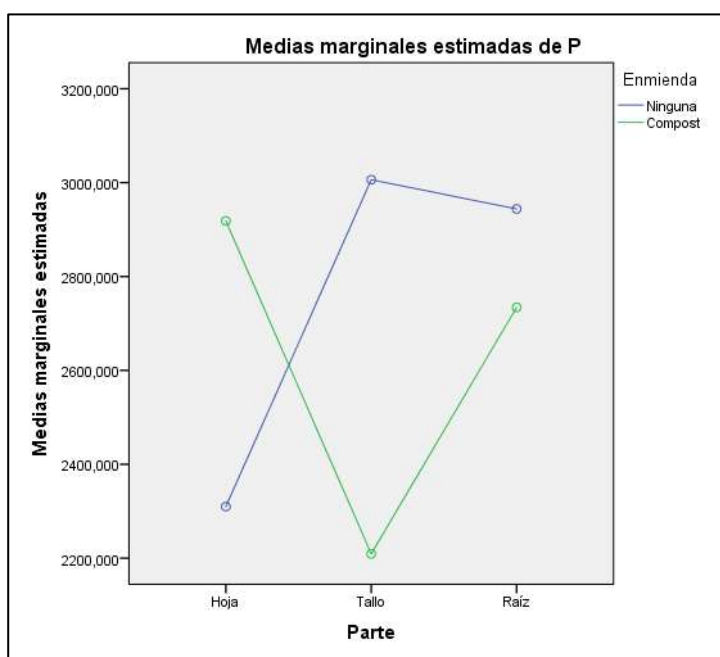
El potasio es absorbido por la materia vegetal en forma de ion positivo, su importancia radica en que participa en el correcto funcionamiento de la fotosíntesis, además que actúa como activador enzimático y de transporte de macromoléculas como nitrógeno y carbono en sus formas químicas activas dentro de la planta. Por lo general su contenido en la planta es igual al del nitrógeno ya que actúa en conjunto para mantener el balance metabólico de la planta (Toledo, 2016).

La concentración de potasio en las plantas fue muy variable entre órganos de la planta y entre los tratamientos del suelo, así el contenido de  $K^+$  para las hojas de cebolla de SN fue de 22491.71 mg/kg, mientras para SC fue de 34019.24 mg/kg, resultado significativamente mayor para la cebolla cultivada en suelo con compost. En cuanto al tallo las concentraciones obtenidas fueron 36333.41 mg/kg para SN y 35974.14 mg/kg para SC significativamente de medias similares entre ambos tratamientos. Finalmente, la raíz de los tratamientos presentaron 24722.91 mg/kg para SN y 39401.34 mg/kg para SC, siendo el contenido del suelo sin ningún tratamiento el valor menor del análisis para este órgano de la planta.

Los resultados experimentales de las medias se encuentra elevados en comparación al valor normal citado en bibliografía, el cual refiere que un contenido adecuado de Potasio (K) sería de 10000 ppm (mg/kg) en la materia vegetal (Kirkby y Romheld, 2008). Sin embargo, esta cantidad en exceso no precisamente sugiere un posible problema para el cultivo de la cebolla ni de cualquier vegetal, ya que se establece que no sufrirá alteraciones de ningún tipo por concentraciones mayores del macronutriente

analizado en este apartado, por otra parte, sí lo puede hacer con el contenido alto o en exceso de otros minerales como los son calcio o magnesio (Pérez, 2017) los cuales pueden determinar otros problemas en las plantas.

### 3.5.3.4 Fósforo



**Gráfico 4-3:** Medias marginales estimadas de Fósforo

Realizado por: Guananga J., 2022

Los valores de las concentraciones de fósforo (P) analizadas en el IBM SPSS demostraron que existe mayor contenido de este macronutriente en el tallo y raíz de las cebollas cultivadas en suelo sin ningún tratamiento, siendo el contenido del tallo el de mayor rango de diferencia denotado en el gráfico 4-3. En cuanto al contenido de P en las hojas de las cebollas, fue mayor para las cultivadas en suelos enriquecidos por compost, mientras que menor para las cultivadas en suelos sin enmienda orgánica probablemente esta sea la razón de la mayor cantidad en gramos de hojas encontrada en el análisis de calidad de la planta, en la que claramente se evidencia que las hojas de cebollas cultivadas en SC son de mayor proporción, y siguiendo el principio fisiológico del fósforo en la planta el cual establece que un contenido mayor de este macronutriente favorece al crecimiento y maduración de los órganos altos (Castillo, 2016).

Este elemento nutritivo participa en las reacciones del metabolismo de la planta, como actor de obtención y almacenamiento de energía en formas de almidones a partir de su precursor el azúcar. Cuando existe un déficit de fósforo (P) en la planta esta tornará sus hojas de color púrpura, esto debido

a la formación de antocianinas como consecuencia de una ausencia química de la glucosa que participe en los procesos metabólicos de la planta (Toledo, 2016).

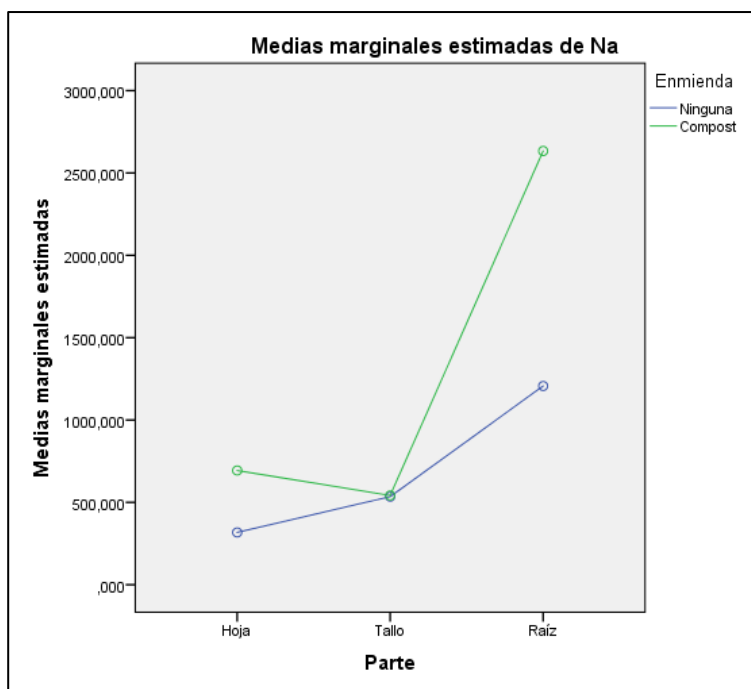
Los resultados en ppm (mg/kg) reportados para este elemento fueron de 2309.84, y 2918.26 para las hojas de las cebollas cultivadas en suelos sin tratamiento y en suelo con compost respectivamente, mientras que para tallos y raíz de las cebollas cultivadas en suelos sin tratamiento el resultado fue de 3006.21 mg/kg y 2943.98 mg/kg , valores mucho más altos en contraste con los resultados de concentraciones de fósforo en tallos y raíces de las cebollas, los cuales fueron de 2628.67 mg/kg y 2734.32 mg/kg respectivamente.

Los resultados encontrados experimentalmente de las medias analizadas para las muestras de los órganos de la planta de estudio (cebolla) determinan que los valores se encuentran por encima del contenido del mineral establecido por Kirkby y Romheld (2008) el cual establece que un contenido en mg/kg para el elemento fósforo es de 2000, y ningún valor está por debajo de este dato. Por lo general el contenido disponible de fósforo (P) para una planta llega a ser muy limitado debido a que este elemento suele formar compuestos en el suelo los cuales por sus características químicas se vuelven no absorbibles por la planta (Toledo, 2016).

Debido a que la planta absorbe el fósforo para su metabolismo entre los primeros 30 a 40 días de crecimiento de la materia vegetal, es la razón por la cual muchos autores señalan la importancia del aporte de este nutriente al suelo, pasado este lapso de días el aporte se vuelve poco influyente en el rendimiento del cultivo (Fernández, 2007).

#### 3.5.3.5 *Sodio*

Los resultados de la evaluación estadística de las concentraciones de sodio en el SPSS statics demuestran que los contenidos de sodio (Na) en hojas y en raíz de las cebollas cultivadas en suelos enriquecidos con compost muestran un mayor nivel en comparación a las cultivadas en suelos sin ningún tratamiento en los antes mencionados órganos de la planta. El tallo presenta una media significativamente similar entre las cebollas de ambos tratamientos de suelo, siendo una media cercana a la igualdad y por tanto la gráfica la expresa en el mismo punto uno de otro.



**Gráfico 5-3:** Medias marginales estimadas de sodio

Realizado por: Guananga J., 2022

El sodio al igual que otros ciertos elementos son considerados innecesarios para las plantas, sin embargo, pueden ser usados por los vegetales en cantidades mínimas para su metabolismo o síntesis de sustancias necesarias para el desarrollo de este. Su presencia principalmente se observa en forma de sales, y quizá una de las mejores excepciones es sobre el aporte beneficioso del sodio en los cultivos nitrofilicos como de las *Chenopodiaceae* en los cuales se ha determinado que mejora el rendimiento y calidad de estos (Bloodnick, 2021). Quizá de las funciones principales que cumple el Na (sodio) en la planta es la de ayudante regenerador del ácido fosfoenolpiruvato, el cual es precursor de la primera carboxilación del ciclo para la obtención de energía calórica (K+S, 2019). Los valores determinados para este mineral se ajustan entre 100 y 1000 mg/kg en pastos, y debajo de la cantidad necesaria para animales (K+S, 2019).

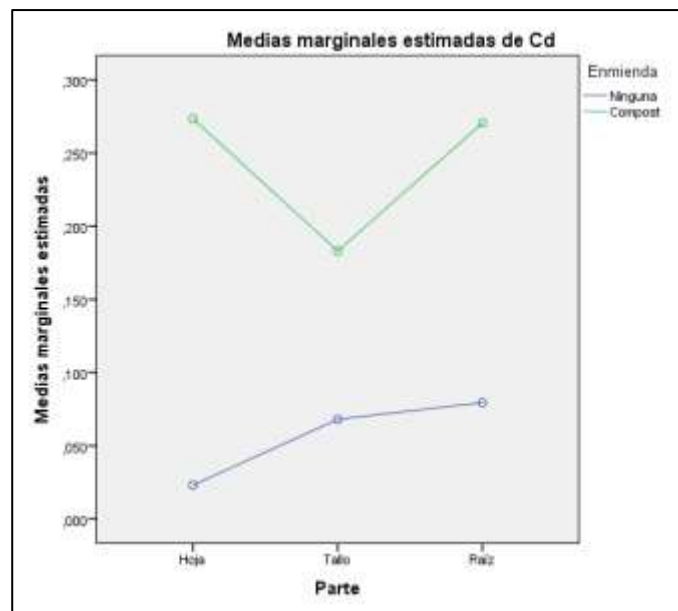
Experimentalmente los datos de las concentraciones de sodio encontrados en los órganos evaluados de la cebolla cultivada en suelo sin ningún tratamiento (SN) fueron 1206.60 mg/kg, 534.77 mg/kg y 317.68 mg/kg de Na para las muestras de raíz, tallos y hojas, respectivamente. Mientras que para las muestras de cebolla cultivadas en suelo enriquecido con compost (SC) fueron de 2633.26 mg/kg, 538.78 mg/kg, y 693.39 mg/kg para los órganos raíz, tallo y hojas respectivamente. Tal como se había mencionado los resultados de tallo tanto de SC como de SN muestran medias muy similares, por lo que no presentan diferencia significativa.



Los datos evaluados en el estudio demuestran que no se encuentran fuera de los rangos permitidos, por lo cual se puede decir que los valores de sodio en las plantas cumplen o se encuentran dentro de los parámetros establecidos en bibliografía.

### 3.5.3.6 Cadmio

Los resultados establecidos por el software estadístico IBM SPSS para el análisis de los datos experimentales de las muestras de los órganos de las plantas de cebolla cultivadas en los distintos tratamientos, arrojaron un resultado favorable para el contenido de este metal en las cebollas cultivadas en suelo enriquecido con enmienda orgánica compost, siendo claramente superior a los valores hallados en las plantas de suelo sin tratamiento.



**Gráfico 6-2:** Medias marginales estimadas de cadmio

**Realizado por:** Guananga J., 2022

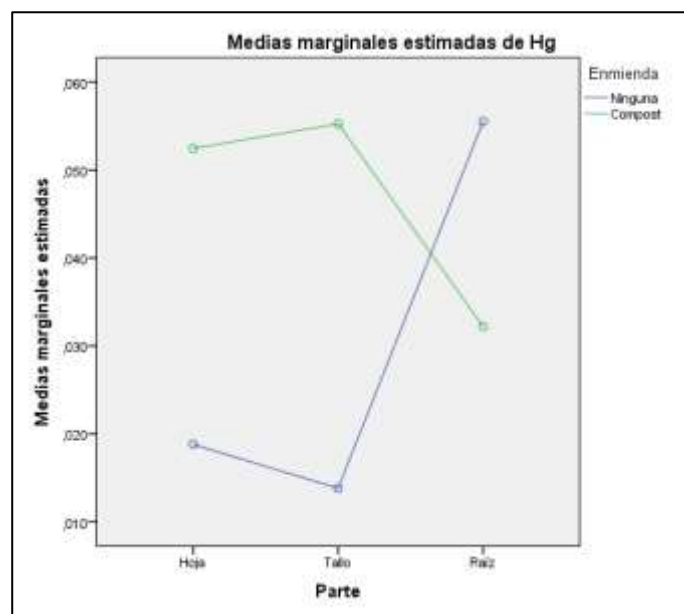
El contenido de cadmio en la planta fue de 0.0231 mg/kg en las hojas, 0.0681 mg/kg en los tallos, y 0.079 mg/kg en las raíces de las cebollas cultivadas en suelos sin tratamiento. Por otra parte, el contenido del metal en las plantas cultivadas en suelo enriquecido con compost fueron 0.2736 mg/kg en hojas, 0.1225 mg/kg en tallos y 0.271 mg/kg en raíces de las cebollas.

Según la normativa de la Unión Europea, la legislación australiana, la legislación brasileña, el Codex alimentarius, la normativa de Finlandia, Rusia y Sudáfrica establecen que los valores en mg/kg máximos para una hortaliza como es la cebolla, no debe sobrepasar el límite de 0.1, por lo cual, se evidencia que

los resultados obtenidos de las cebollas cultivadas en suelos sin tratamiento están dentro de las normativas mencionadas, por otro lado, las cebollas cultivadas en el suelo con compost se encuentra con valores superiores a lo permitido para el metal Cadmio en la planta (Briceño et al., 2020).

Es importante mencionar que se determinó en el apartado 3.5.2.1 que las cebollas cultivadas en el suelo con compost en la zona de influencia de la ceniza del volcán Tungurahua, al presentar un valor por encima de la unidad, suponían un factor de riesgo la cadena trófica al tener la capacidad de retener e incorporar estos elementos contaminantes a su estructura, probablemente y en contraste con otros estudios esto se deba al aporte aniónico que brinda el enriquecimiento del suelo agrícola con la enmienda compost al suelo, el cual favoreció a la absorción de los elementos como los metales por parte de la planta como se demuestra con el cadmio (Florián, [sin fecha]).

### 3.5.3.7 Mercurio



**Gráfico 7-3: Medias marginales estimadas de mercurio**

Realizado por: Guananga J., 2022

Los resultados establecidos por el analizador estadístico SPSS statics demuestran que las medias de las concentraciones de mercurio en hojas y tallo de las cebollas cultivadas en suelo con compost son significativamente mayores a las cultivadas en suelo sin tratamiento, sin embargo, esto cambia en la concentración de la raíz pues es mayor en la cebolla sin ningún tratamiento frente a la cebolla cultivada en compost.

Los resultados de las medias para el elemento metálico (Hg) fueron 0.019 mg/kg en las hojas, 0.01 mg/kg en los tallos y 0.056 mg/kg en las raíces para la cebolla cultivada en suelo sin tratamiento, mientras que para las cebollas cultivadas en compost fueron de 0.05 mg/kg en las hojas, 0.03 mg/kg en los tallos y 0.03 mg/kg en la raíz para el metal Hg. La normativa INEN-CODEX 193 establece que el límite permisible en suelos es de 0.1 mg/kg, sin embargo, se requiere de una normativa específica para vegetales, por ello según la Agencia Nacional de Normalización de China el valor recomendado para el Hg es de 20ng/g, que a su conversión sería 0.02 mg/kg. En base a este dato se puede discriminar que los datos obtenidos en los resultados de cebolla cultivada en suelo con compost están sobre los límites Establecidos por la normativa China (Durango y Reina, 2020).

La razón por la cual no sigue la tendencia de mayor concentración del metal mercurio según la enmienda y que en la raíz se cambie, probablemente sea por el aporte que da la aplicación de la enmienda orgánica al favorecer la absorción de la planta sobre los metales pesados mediante sus aniones, tal como se había mencionado en el trabajo (Florián, [sin fecha]). Esto favorecería a una rápida movilización a sus órganos como tallo y hojas, mientras que un aumento en la concentración de mercurio en las raíces de las cebollas cultivadas en suelos sin tratamiento pueda deberse por la fijación del Hg en sus formas complejas, debido a esta falta de característica mencionada (Bonilla, 2013).

## CONCLUSIONES

Los procesos de biorremediación en la actualidad son una vía de recuperación de recursos edáficos que sirven como base para la seguridad alimentaria de los pueblos, ya que antiguamente se los explotaba sin pensar en las consecuencias a futuro que esto podría originar, o talvez por la falta de conocimiento y el uso indebido de técnicas y fertilizantes químicos que si bien podrían favorecer al agricultor a largo plazo, este sería el más afectado cuando la salud de su suelo se vería alterada y su producción escaseara. Por tal motivo es que los gobiernos buscan alternativas no invasivas y accesibles económicamente para que dichos suelos vuelvan a ser fértiles para los cultivos y producción de alimentos, tal como se demostró con el ciclo de producción agrícola de la cebolla, siendo un producto de ciclo corto y obteniendo grandes resultados en cuanto a calidad.

La concentración de metales pesados Hg y Cd no superaron los límites establecidos por la normativa nacional e internacional, su variabilidad fue mínima debido a la baja concentración que estos presentaban en los suelos. El metal mercurio es el elemento metálico que menos variabilidad presentó entre los tratamientos antes de la siembra y después de la cosecha de la materia vegetal, mientras que el cadmio presentó cierto incremento mínimo de su concentración.

Los factores de bioconcentración fueron evaluados satisfactoriamente, si bien los riesgos para la salud del consumo de la materia vegetal cultivada en los suelos con los diferentes tratamientos son bajos, se demostró que las plantas cultivadas en suelos enriquecidos con compost son las que mayor cantidad de estos contaminantes poseen, debido a que por su aporte nutrimental absorben más fácilmente los metales disponibles en el medio de crecimiento y los transportan al interior de la planta. En base a los resultados de estos factores se puede mencionar que la zona de estudio sí corre riesgo de ingreso de los metales evaluados a la cadena trófica por la influencia de la ceniza del volcán Tungurahua.

El aporte del compost en el suelo de los cultivos de cebolla brindó los nutrientes necesarios para cosechar plantas de mejores características en comparación con las que no fueron aportadas con la enmienda orgánica, obteniendo así mayor cantidad de producto por parcela y de mejores características morfológicas tal como se demostró en la cantidad en peso de la cosecha de cebollas cultivadas en suelo con compost (2 kg) siendo un 29% mayor al que las cultivadas en suelos sin ningún tratamiento (1.55 kg), así como los resultados del diámetro que demostraron que el valor de la cebolla cultivada en suelo con enriquecimiento de la enmienda orgánica era mayor (1.88 cm) al de la cebolla cultivada en suelo sin ningún tratamiento (1.61 cm) es decir un 17 % mayor. Sin duda el aporte del compost puede ser una alternativa a las enmiendas orgánicas e inorgánicas que en la actualidad miles de campesinos agrícolas emplean en el Ecuador para mejorar sus cultivos, tal cual se refleja en la tabla 8-3.

## **RECOMENDACIONES**

Se deberían aplicar técnicas no invasivas y tecnologías limpias para la recuperación de los suelos contaminados, mientras que los suelos que no se encuentran contaminados también se los debería tratar como un medio de prevención y así obtener alimentos más sanos y de mejor calidad comercial para los consumidores.

Es importante brindar asesoría a los agricultores de las zonas aledañas y afectados por la caída de ceniza volcánica del Tungurahua sobre el empleo de compostaje como una técnica de mejoramiento de sus cultivos y tierras, metodología nueva y que muchos aún desconocen además de su potencial beneficio para mitigar los impactos ambientales generados en el sector agrícola.

Controlar periódicamente los niveles de contaminantes en el suelo, evitando en lo mayor posible el empleo de fertilizantes químicos sobre los cultivos si no es estrictamente necesario, para que los suelos y cultivos no adquieran sustancias que puedan afectar a la salud de los consumidores.

Promover el compost empleado en este estudio, en las zonas agrícolas de la provincia de Chimborazo para que los agricultores se beneficien de este producto. Se deberían realizar estudios comparativos entre el factor económico y la eficacia del uso de enmiendas orgánicas que se expendan en los mercados agroquímicos del país y son actualmente utilizadas.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALDAVE, T. & APONTE, H.** Estudio comparativo del porcentaje de carbono entre especies de flora vascular de los Pantanos de Villa (Lima-Perú). *ARNALDOA* [en línea], 2019. vol. 26, no. 2, pp. 751–760. ISSN 2413-3299. DOI 10.22497/arnaldoa.262.26216. Disponible en: <http://doi.org/10.22497/arnaldoa.262.26216>.
- ANDREA CAMPITELLI, P. & BACHMEIER, O.** Calidad de compost y vermicompuestos para su uso como enmiendas orgánicas en suelos agrícolas, 2010. Córdoba, Argentina:
- ANDREU, J., BETRÁN, J., DELGADO, I., ESPADA, J.L., GIL, M., GUTIÉRREZ, M., IGUÁCEL, F., ISLA, R., MUÑOZ, F., ORÚS, F., PÉREZ, M., QUÍLEZ, D., SIN, E. & YAGUE, M.R.** Fertilización Nitrogenada Guía de actualización, 2003.
- ARCILLA, J. & SALDÍAS, C.,** 2005. La Erupción del Volcán Ilamatepec y su Efecto sobre el Cultivo de Café . [en línea]. [Consulta: 19 March 2022]. Disponible en: <https://www.yumpu.com/es/document/read/40826456/generalidades-sobre-los-volcanes-cenicafac>.
- AYALA, J. & ROMERO, H.** LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida. [en línea],2013. vol. 17, no. 1, pp. 36–46. ISSN 1390-3799. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=476047401002>.
- BALLESTEROS, J.** Determinación de la eficiencia de la *Azolla caroliniana* como matriz de hiperacumulación de metales pesados cuantificados , 2011. Carrera de Ingeniería en Biotecnología de los Recursos Naturales. Quito, Ecuador.
- BARRIO, N.** *Metales pesados en suelos y sus efectos sobre lo salud* [en línea] , 2017. [Consulta: 19 March 2022]. Disponible en: <https://eprints.ucm.es/id/eprint/55568/1/NOELIA%20BARRIO%20VEGA.pdf>.
- BEAGLEHOLE, R., BONITA, R. & KJELLSTROM, T.** Basic Epidemiology, 1993. World Health Organization. ISBN 9241544465.
- BLOODNICK, E.** La función del sodio y del cloruro en el cultivo de plantas. *PROMIX* [en línea], 2021. [Consulta: 21 March 2022]. Disponible en: <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/la-funcion-del-sodio-y-del-cloruro-en-el-cultivo-de-plantas/>.
- BONILLA, S.** Estudio para tratamientos de biorremediación de suelos contaminados con plomo, utilizando el método de fitorremediación, 2013. Quito, Ecuador.

- BRICEÑO, J., TONATO, E., SILVA, M., PAREDES, M. & ARMADO, A.** Metal content evaluation in soils and edible tissues of *allium fistulosum* l. On crops near the Tungurahua volcano. *Granja*, 2020. vol. 32, no. 2, pp. 112–123. ISSN 13908596. DOI 10.17163/lgr.n32.2020.09.
- CAMACHO, J., FORERO, N., RAMÍREZ, L. & RUBIANO, Y.** Evaluación de textura del suelo con espectroscopía de infrarrojo cercano en un oxisol de Colombia. *Colombia Forestal*, 2017. vol. 20, no. 1, pp. 5–18. ISSN 2256201X. DOI 10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2017.1.a01.
- CASTILLO, B.** Determinación de curvas de extracción de nutrientes n . p - k con aplicación de fertilización en el cultivo de cebolla china (*Allum fistulosum l.*) bajo condiciones del distrito de Caynarachi, 2016. Tarapoto, Perú: s.n.
- CASTILLO, C.** Universidad Nacional agraria trabajo de diploma selección y calibración de indicadores locales y técnico para evaluar la degradación de los suelos laderas, en la microcuenca Cuscamá el Tuma-la dalia Matagalpa, 2005. Managua
- CASTRO, N., MORENO, R., CALDERÓN, F., MORENO, A. & TAMARIZ, J.** Heavy metals in milk from cows fed alfalfa produced in soils irrigated with wastewater in Puebla and Tlaxcala, Mexico. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 2018. vol. 9, no. 3, pp. 466–485. ISSN 20071124. DOI 10.22319/rmcp.v9i3.4358.
- CATALÁ, M.** Efectos de la contaminación por mercurio . [en línea], 2015. [Consulta: 19 March 2022]. Disponible en: <https://toxamb.wordpress.com/2015/11/19/aaa-efectos-de-la-contaminacion/#:~:text=Uno%20de%20los%20principales%20problemas,y%20finalmente%20al%20ser%20humano.>
- CHÁVEZ, P.** caracterización fisicoquímica y madurez del compost de las ciudades de tingo María y Aucayacu mediante test de autocalentamiento, 2015. Tingo María, Perú.
- CIP.** Norma Técnica de Suelo, [sin fecha]. Ecuador:
- CORREA, R.** Miércoles 12 de abril de 2017-3 Registro Oficial N° 983-Suplemento, 2016.
- COYAGO, E. and BONILLA, S.** Absorción de plomo de suelos altamente contaminados en especies vegetativas usadas para consumo animal y humano. *La Granja*, 2016. vol. 23, no. 1. ISSN 1390-3799. DOI 10.17163/lgr.n23.2016.04.

- DELGADILLO, A., GONZÁLEZ, C., PRIETO, F., VILLAGÓMEZ, J. and ACEVEDO, O.** Fitorremediación: Una alternativa para eliminar la contaminación, 2011. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, Vol. 14, pp 597-612
- DIRECCIÓN GENERAL DE AERONÁUTICA CIVIL.** Circular de asesoramiento que establece los métodos recomendados en caso de actividad volcánica, 2014. Dirección general de aeronáutica civil.
- DOADRIO, A.** Ecotoxicología y acción toxicológica del mercurio. [en línea], 2009. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/39244947>.
- DURANGO, J., DÍAZ, L., MARRUGO, J., CRUZ, Á. & ENAMORA, G.** Evaluación de la capacidad fitoestabilizadora de mercurio por parte de la Cebolla (*Allium Cepa L*), en cultivos hidropónicos, 2016. vol. 24, no. 39.
- DURANGO, M. & REINA, M.** Evaluación de la absorción de mercurio (Hg) con diferentes concentraciones en cuatro variedades de arroz (*Oryza satival*) sembradas en suelos de la Mojana, 2020. Córdoba, Argentina.
- EWEIS, J. & EWEIS, E.** Bioremediation principles, 1998.
- FERNÁNDEZ, L. & GONZÁLES, V.** Niveles del Mercurio en Peces de Madre de Dios. [en línea], 2009. [Consulta: 19 March 2022]. Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/mineriailegal/wp-content/uploads/sites/43/2013/10/Carnegie-mercurio-Madre-de-Dios.pdf>.
- FERNÁNDEZ, M.** Fósforo: amigo o enemigo. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar* [en línea], 2007. vol. XLI, no. 2. ISSN 0138-6204. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223114970009>.
- FERRANDO, M.** Curso de Fertilidad de Suelos. [en línea], 2013. Uruguay: [Consulta: 20 March 2022]. Disponible en: <http://www.fagro.edu.uy/fertilidad/curso/docs/Fosforo.pdf>.
- FIALLOS, M.** Cuantificación de metales pesados y calidad microbiológica de frutas y vegetales que se expenden en el mercado mayorista de la ciudad de Ambato, 2017. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos.
- FLORES, L. & ALCALÁ, J.** Manual de Procedimientos Analíticos, 2010.
- FLORIÁN, A.** Conductividad Eléctrica en las enmiendas orgánicas (compost): Importancia, efecto y recomendaciones. *Fertilizantes Orgánicos SAC* [en línea], [sin fecha]. [Consulta:



20 March 2022]. Disponible en: <https://www.fosacperu.com/conductividad-electrica-en-las-enmiendas-organicas-compost-importancia-efecto-y-recomendaciones/>.

**FOOD AND AGRICULTURE ORGANITATION.** Polluting our soils is polluting our future. [en línea], 2018. [Consulta: 19 March 2022]. Disponible en: <https://www.fao.org/fao-stories/article/en/c/1126974/>.

**GALÁN, E. and ROMERO, A.** Contaminación de Suelos por Metales Pesados, 2008.

**GAONA, X.** El mercurio como contaminante global Desarrollo de metodologías para su determinación en suelos contaminados y estrategias para la reducción de su liberación al medio ambiente , 2004.

**GARCÍA, G.** Suelos sanos: aliados de la seguridad alimentaria y la nutrición. [en línea], 2020. [Consulta: 19 March 2022]. Disponible en: <https://thefoodtech.com/seguridad-alimentaria/suelos-sanos-aliados-de-la-seguridad-alimentaria-y-la-nutricion/#:~:text=Los%20suelos%20sanos%20son%20el,las%20personas%20y%20a%20los%20animales.>

**GARRIDO, S.** Interpretación de análisis de Suelos, 1993. Madrid, España:

**GOETSCHEL, L.** Los Metales Pesados: un Desafío para la Inocuidad Alimentaria en el Ecuador. III Seminario Internacional de Inocuidad de Alimentos [en línea], 2018. [Consulta: 19 March 2022]. Disponible en: <https://www.udla.edu.ec/wp-content/uploads/2019/02/Los-Metales-Pesados-un-Desaf%23U00edo-para-la-Inocuidad-Alimentaria-en-el-Ecuador-Lorena-Goetschel.pdf>.

**GUZMÁN, J.** Pilas y Baterías ecológicas, una alternativa para la reducción de contaminantes. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, 2011. México.

**HARO, A.** Evaluación del impacto ambiental en los pastizales producidos por el proceso eruptivo del volcán Tungurahua en la hacienda Choglontus. Riobamba, Ecuador.

**IDROVO, J., GAVILANES, I., VELOZ, N., ERAZO, R. & PAREDES, C.** Closing the cycle for the cut rose industry by the reuse of its organic wastes: A case study in Ecuador. *Journal of Cleaner Production*, 2019. vol. 220, pp. 910–918. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2019.02.121.

**INSTITUTO GEOFÍSICO.** Informe Especial del Volcán el Reventador N°2 - 2020. [en línea], 2020. Quito: [Consulta: 18 March 2022]. Disponible en:

<https://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/1831-informe-especial-del-volcan-el-reventador-n-2-2020>.

**INSTITUTO GEOFÍSICO – EPN.** Tungurahua. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 19 March 2022]. Disponible en:

[https://www.infoagro.com/abonos/contaminacion\\_suelos\\_metales\\_pesados.htm](https://www.infoagro.com/abonos/contaminacion_suelos_metales_pesados.htm).

**INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACIÓN PARA LA AGRICULTURA.**

Agua y suelo, la base para la seguridad alimentaria . [en línea], 2017. [Consulta: 19 March 2022]. Disponible en: <https://iica.int/es/prensa/noticias/agua-y-suelo-la-base-para-la-seguridad-alimentaria>.

**JULCA, A., MENESES, L., BLAS, R. & BELLO, S.** La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura organic matter, importance, experiences and it role in agriculture. 2006.

**K+S.** Sodio.Minerals and Agriculture [en línea], 2019. [Consulta: 21 March 2022]. Disponible en: [http://www.ks-minerals-and-agriculture.com/eses/fertiliser/advisory\\_service/nutrients/sodium.html](http://www.ks-minerals-and-agriculture.com/eses/fertiliser/advisory_service/nutrients/sodium.html).

**KIRKBY, E. and ROMHELD, V.** Micronutrientes en la fisiología de las plantas: funciones, absorcion ymovilidad. [en línea], 2008. Quito, Ecuador: Disponible en: [www.ipni.net](http://www.ipni.net).

**KUMAR, A. & SUBODH, M.** Assessment of potentially toxic heavy metal contamination in agricultural fields, sediment, and water from an abandoned chromite-asbestos mine waste of Roro hill, Chaibasa, India. *Environmental Earth Sciences*, 2015. vol. 74, no. 3, pp. 2617–2633. ISSN 18666299. DOI 10.1007/s12665-015-4282-1.

**LONDOÑO, L.F., LONDOÑO, P. & MUÑOZ, F.** Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial, 2016. vol. 14, no. 2, pp. 145. DOI 10.18684/bsaa(14)145-153.

**MAHECHA, J., TRUJILLO, J. & TORRES, M.** Heavy metal content in agricultural soil from the Ariari region in the Meta department Conteúdo de metais pesados em solos agrícolas na região Ariari, 2015. Departamento de Meta. *Meta. Colombia*.

**MELÉNDEZ, G. & SOTO, G.** Taller de Abonos orgánicos. Proyecto NOS del CATIE/GTZ, Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Cota Rica y la Cámara de Insumos Agropecuarios No Sintéticos , 2003. Sabanilla.

- MINISTERIO DEL AMBIENTE.** Registro Oficial N° 387, 2015. Edición Especial
- MINISTERIO DEL AMBIENTE.** Edición digital No2 \* Revista de Investigación Ambiental \* Ministerio del Ambiente del Ecuador \* Edición Anual 2016 \*, 2016. ISSN en trámite
- MONICIPIO DE MOCHA.** Historia de la Parroquia . [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 18 March 2022]. Disponible en: [http://www.municipiomocha.gob.ec/gadmocha/index.php?option=com\\_content&view=article&id=59&Itemid=188](http://www.municipiomocha.gob.ec/gadmocha/index.php?option=com_content&view=article&id=59&Itemid=188).
- MORALES, V. & ERAZO, E.** Evaluación de la incidencia de la ceniza del volcán Tungurahua y su impacto ambiental. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Facultad de Ciencias., 2020. Riobamba
- MULA, J.** Valores de referencia de un análisis de suelo. AGROMÁTICA [en línea], 2012. [Consulta: 20 March 2022]. Disponible en: <https://www.agromatica.es/referencia-de-un-analisis-de-suelo/>.
- NAVARRO, J.P., AGUILAR, I. & LÓPEZ, J.R.** Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. [en línea], 2007. S.l.: Disponible en: <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=488>.
- NTC 1222.** Cebolla larga, 1979. Bogotá:
- OBSERVATORIO DEL DERECHO A LA ALIMENTACIÓN DE ESPAÑA.** La protección de los suelos es fundamental para la seguridad alimentaria. [en línea], 2015. [Consulta: 19 March 2022]. Disponible en: <https://derechoalimentacion.org/noticias/la-proteccion-de-los-suelos-es-fundamental-para-la-seguridad-alimentaria>.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA.** Base de Datos Género y Derecho a la Tierra. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 19 March 2022 a], Disponible en: [https://www.fao.org/gender-landrights-database/country-profiles/listcountries/nationallegalframework/policiesinstitutionalmechanismsenforcingorp-reventingwomenslandrights/es/?country\\_iso3=ECU](https://www.fao.org/gender-landrights-database/country-profiles/listcountries/nationallegalframework/policiesinstitutionalmechanismsenforcingorp-reventingwomenslandrights/es/?country_iso3=ECU).
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA.** Portal de suelos de la FAO. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 19 March 2022 b]. Disponible en: <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/>.

- ORRALA, K.** Calidad de abonos orgánicos (compost) a partir del estiércol porcino y su efecto en el desarrollo radicular en el maíz emblema (*Zea mays*) en santa elena, 2021. La Libertad, Ecuador.
- PÉREZ, A., GARCÍA, R., VÁZQUEZ, A., COLINAS, T., PÉREZ, M. & NAVARRO, H.,** Concentración de Pb, Cd, Ni y Zn en suelos contaminados y su transferencia a la pella de brócoli, 2008. Terra Latinoamericana. Vol. 26. N° 3.
- PÉREZ, F.** Fisiología vegetal parte III nutrición mineral, 2017. Pucallacpa
- PÉREZ, J.** Fitorremedios. [en línea], 2014. [Consulta: 19 March 2022]. Disponible en: <https://culturacientifica.com/2014/09/07/fitorremedios/>.
- PRTR.** Hg ( mercurio y compuestos). [en línea], 2007. [Consulta: 19 March 2022]. Disponible en: <https://prtr-es.es/Hg-Mercurio-y-compuestos,15608,11,2007.html>.
- QUERO, P., ZORRILLA, M., MORALES, S. & RODRÍGUEZ MIRIELA.** Determination of heavy metal contamination in soils surrounding the electrochemical enterprise of Sagua. [en línea], 2017. S.l.: Disponible en: <http://centrozucar.uclv.edu.cu>.
- RAMÍREZ, A.** Intoxicación ocupacional por mercurio. Facultad de *Medicina* [en línea], 2008. vol. 69, no. 1, pp. 46–51. ISSN 1025-5583. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37911588010>.
- RAMÍREZ, R.** Propiedades físicas químicas y biológicas de los suelos, , 1997. S.l
- RAZMILIC, B.** Espectroscopía de absorción atómica. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 19 March 2022]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/ab482s/ab482s04.htm>.
- RIVADENEIRA, J.** Compostaje de residuos sólidos orgánicos provenientes de los mercados municipales de la ciudad de Macas, mediante la técnica de Takakura. Escuela de Ciencias Químicas, 2018.
- RIVAS, M. & SILVA, R.** 2019. Calidad física y química de tres compost, elaborados con residuos de jardinería, pergamino de café y bora (*Eichhornia Crassipes*). *Revista Ciencia Unemi*, Vol. 13, núm. 32 [en línea], [Consulta: 20 March 2022]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/5826/582661898009/html/>.
- ROCA, A.** Contaminación de suelos por metales pesados . [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 19 March 2022]. Disponible en: [https://www.infoagro.com/abonos/contaminacion\\_suelos\\_metales\\_pesados.htm](https://www.infoagro.com/abonos/contaminacion_suelos_metales_pesados.htm).

- RODRÍGUEZ, N., MCLAUGHLIN, M. & PENNOCK, D.** La contaminación del suelo: una realidad oculta, 2019. Roma, Italia:
- ROMÁN, Pilar., MARTÍNEZ, M.M. & PANTOJA, Alberto.** Manual de compostaje del agricultor : experiencias en América Latina. S.l, 2013. FAO. ISBN 9789253078448.
- ROMERO, B.** Contaminación por metales pesados en alimentos en Ecuador: meta-análisis, 2020. Guayaquil, Ecuador: s.n.
- RUEDA, G., RODRÍGUEZ, A. & MADRIÑÁN, R.** Metodologías para establecer valores de referencia de metales pesados en suelos agrícolas: Perspectivas para Colombia, 2011. *Acta Agronómica*, vol. 60, pp. 203–218.
- SÁNCHEZ, G.** Ecotoxicología del cadmio suelos ricos en cadmio. S.l, 2016.
- SOIL, S.S.** Soil Survey Field and Laboratory Methods Manual; Soil Survey Investigations Report No. 51; Version 2, 2014. U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.,
- SOUTO, A., GÓMEZ, L. & GARCÍA, M.** Termómetros de mercurio, aún tóxicos aún presentes, 2012. Centro de Salud de Valtierra. Atención primaria, vol. 35, no. 3, pp. 525–528.
- TAMASHIRO, S.** Biorremediación de suelos contaminados y de estiércol de aves. *SLT - Radio UBA* [en línea], 2019. [Consulta: 20 March 2022]. Disponible en: <http://sobrelatierra.agro.uba.ar/biorremediacion-de-suelos-contaminados-y-de-estiercol-de-aves/>.
- TOLEDO, M.** Manejo de suelos ácidos de las zonas altas de honduras conceptos y métodos. *IICA* [en línea], 2016. [Consulta: 20 March 2022]. Disponible en: <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/3108/BVE17069071e.pdf;jsessionid=B9724F1841515BF96DB122D078EEE626?sequence=1>.
- TORTOSA, G.** Criterios para obtener composts de calidad para la producción industrial de abonos y enmiendas orgánicas. *Compostando Ciencia* [en línea], 2013. [Consulta: 20 March 2022]. Disponible en: <http://www.compostandociencia.com/2013/05/criterio-calidad-composts-como-abonos-html/>.
- VÁZQUEZ, J., ALVAREZ-VERA, M., IGLESIAS-ABAD, S. & CASTILLO, J.** The incorporation of organic amendments in the form of compost and vermicompost reduces the

negative effects of monoculture in soils, 2020. *Scientia Agropecuaria*, vol. 11, no. 1, pp. 105–112. ISSN 23066741. DOI 10.17268/sci.agropecu.2020.01.12.

**VELASCO, J. & VOLKE, T.** El composteo: una alternativa tecnológica para la biorremediación de suelos en México, 2003. *Gaceta Ecológica*, no. 66, pp. 41–53.

**VIDA POTENCIAL**, Cómo reducir la acumulación de METALES PESADOS [en línea], 2021. [Consulta: 19 March 2022]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=u3Z7KoXiyQs&t=344s>.

**YAÑEZ, P., LEVY, A. & AZERO, M.** Evaluación del compostaje de residuos de dos agroindustrias palmiteras del Trópico de Cochabamba en silos hiperventilados, 2007. *Scielo*, vol. 3, no. 1683–0789.

**ZAMBRANO, A.** Fitorremediación. [en línea], 2019 [Consulta: 19 March 2022]. Disponible en: <https://culturacientifica.com/2019/01/20/fitorremediacion/>.

**ZEBALLOS, J., MELI, R., VILCHIS, A. & BARRIOS, L.** The effects of volcanoes on health: preparedness in Mexico. *World health statistics quarterly* [en línea], vol. 49, no. 3/4, pp. 204–208, 1996. [Consulta: 19 March 2022]. ISSN 55358. Disponible en: [https://www.jumpjet.info/Emergency-Preparedness/Disaster-Mitigation/Earth/Effects\\_of\\_Volcanos\\_on\\_Health.pdf](https://www.jumpjet.info/Emergency-Preparedness/Disaster-Mitigation/Earth/Effects_of_Volcanos_on_Health.pdf).



**epoch**

**Dirección de Bibliotecas y  
Recursos del Aprendizaje**

**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y  
DOCUMENTAL**

**REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA**

**Fecha de entrega:** 06 / 05 / 2022

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> JHOSUA SEBASTIÁN GUANANGA OBREGÓN
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> CIENCIAS
<b>Carrera:</b> BIOQUÍMICA Y FARMACIA
<b>Título a optar:</b> BIOQUÍMICO FARMACÉUTICO
<b>Analista de Biblioteca responsable:</b> Lcdo. Holger Ramos, MSc.

0781-DBRA-UPT-2022